

Territoire(s) wallon(s)

La dimension territoriale
des politiques énergétiques
et de réduction des gaz
à effet de serre



CFDT

Conférence Permanente du Développement Territorial
Région wallonne

Numéro 6 • Avril 2011

Territoire(s) wallon(s)

CPDT



**Territoire(s) wallon(s) est une publication
de la Conférence Permanente
du Développement Territorial**

Diffusion

Service Public de Wallonie
Département de la communication
Place de la Wallonie 1
B-5100 Namur
E mail : publications@spw.wallonie.be
Tél : 0800 11 901

Prix : 10,00 €

Abonnements

Deux numéros par an - 20,00 €
Compte n° : 001-5587013-83
sabine.gerard@uclouvain.be

Les publications de la CPDT sont consultables et téléchargeables sur le site <http://cpdt.wallonie.be>

Droits de traduction et de reproduction réservés pour tous pays. Toute reproduction, même partielle, du texte ou de l'iconographie de cette revue est soumise à l'autorisation écrite de l'auteur.

N° d'ISSN : 1784-4991

Les articles n'engagent que la responsabilité de leurs auteurs.

Editeur responsable

Ghislain Géron
Service Public de Wallonie-DGO4
Rue des Brigades d'Irlande, 1
B - 5100 Namur

Rédacteur en chef

Ghislain Géron

Comité de rédaction

Luce Bellefontaine
Dominique Costermans
Marie-Laurence De Keersmaecker
Jean-Marie Halleux
Florence Lechat
Alain Malherbe
Christian Vandermotten
Bernadette Vauchel

Secrétariat de rédaction

Dominique Costermans
Tél. 32 (0) 10 47 21 89
E mail : dominique.costermans@uclouvain.be

Conception graphique

Debie graphic design

Mise en page

Régis Baudy

Couverture

Photo : SPW-Dircom

Imprimerie

Unijep, Liège

Territoire(s) wallon(s)

La dimension territoriale des politiques énergétiques et de réduction des gaz à effet de serre

Colloque international organisé dans le cadre de la présidence belge de l'Union européenne les 8 et 9 novembre 2010

Numéro 6, Avril 2011

Conférence Permanente du Développement Territorial

Table des matières

Jour 1

Mot de bienvenue du Ministre Nollet	9
Allocutions des autorités académiques	13
Anticipation des effets du pic pétrolier sur le territoire de la Région wallonne <i>Anticipation of the Oil Peak Effects on the Walloon Territory</i> Cédric Bazet-Simoni, Pierre Obsomer, Fiorella Quadu, Véronique Rousseaux, Marc Servais, Thibaut Zeimes, Thierry Bréchet	19
Alternatives au pétrole, entre mythes et réalités <i>Alternatives to Oil : Between Myth and Reality</i> Michel Wautelet	31
Structuration du territoire influençant les émissions de GES <i>Structuring the Territory to Meet Lower Greenhouse Gas Emission Objectives</i> Sébastien Dujardin, Florence-Laure Labeeuw, Eric Melin, François Pirart, Jacques Teller	41
Travel Energy Consumption and the Built Environment from Flanders <i>Consommation d'énergie lors des trajets et environnement du bâti : chiffres probants de la Flandre</i> Kobe Boussauw, Frank Witlox	57
Prospective à l'horizon 2050 du développement urbain en France et implications énergétiques et spatiales des secteurs de l'habitat et de la mobilité quotidienne <i>2050 Forecast Of Urban Development In France And Energy And Space Implications For The Housing And Daily Mobility Sectors</i> Mindjid Maizia	69
Aménagement territorial et Plans Climat Energie Territoriaux : Quels nouveaux défis ? <i>Land-Use and Territorial Climate Energy Plans : What New Challenges ?</i> Anne Grenier	83
Plans d'utilisation de l'énergie, un instrument communal pour la réduction des GES <i>Energy-Use Plan, a municipal instrument for reducing greenhouse gas emissions</i> Cécile Bonnet, Tobias Wagner, Thomas Schmid	95
Planification des transports et de l'usage des sols : cas de l'Île-de-France <i>Transportation planning and land use : the case of the Ile-de-France</i> Jean Laterrasse	109

Jour 2

Mot de bienvenue du Ministre Henry	129
Changement climatique et développement territorial <i>Climate Change and Territorial Development</i> Jean-Pascal van Ypersele	137
Energie et climat : intentions et stratégies des régions voisines <i>Energy and climate : neighbouring Regions' Intentions and strategies</i> Jean-Marc Lambotte	149
Le Plan Climat Energie Territorial (PCET) de l'agglomération de Besançon <i>The Besançon Conglomeration's Territorial Climate Energy Plan (PCET)</i> Jean-Paul Vogel	163
Towards a New Culture of Mobility : The City Mobility Plan in Realisation at the City of Sint-Niklaas (Flemish region) <i>Vers une nouvelle culture de la mobilité : le plan communal de mobilité de Saint-Nicolas (Région flamande)</i> Koen Stuyven	177
Des exemples d'actions au sein des parcs naturels <i>Examples of Action within Nature Reserves</i> Pierre Delcambre et Kévin Mathu	187
Le quartier du Grand Large-Neptune à Dunkerque : Rénovation urbaine <i>The Grand Large-Neptune district in Dunkirk : Urban Renewal</i> Michel Delplace	201
Les séminaires	211
1. Les éco-quartiers	213
2. Les parcs d'activité économique et les écozonings	217
3. Paysages et production d'énergie renouvelable	220
4. Mobilité à l'échelle communale et supra-communale	223
5. Logement : adaptation du parc existant	227
6. Logement : production publique et privée	230
7. Rôle des plans et schémas pour une nouvelle urbanisation	233
8. Le cas des agglomérations	237
9. Politique foncière et politique du logement : champs d'action	239
10. Les implantations commerciales	241
11. Production décentralisée et réseaux de chaleur	244
La table ronde	247

Les conférences

le 8 novembre 2010

Mot de bienvenue du Ministre Nollet

J. Decrop¹



Jehan Decrop — PHOTO F. DOR

Monsieur le Président de séance,
Mesdames et Messieurs (en vos titres et qualités),

Permettez-moi de débiter en excusant le Ministre du développement durable et de la fonction publique, Jean-Marc Nollet. Il aurait vivement souhaité entamer cette journée et vous souhaite à tous de fructueux débats lors de ces deux journées de colloque.

Mais en tant que géographe de formation, c'est avec un plaisir non dissimulé que j'ai l'honneur d'introduire cet important colloque consacré à la dimension territoriale des politiques énergétiques et de réduction de gaz à effet de serre. Il ne fait plus de doute que le modèle énergétique actuel, basé sur une consommation élevée et un mix de production dominé par les énergies fossiles et fissile, a fait long feu. Je ne m'attarderai pas sur les multiples pressions qu'exerce ce modèle sur notre société : factures énergétiques à la hausse, émissions de gaz à effet de serre, accumulation de déchets hautement radioactifs, forte dépendance vis-à-vis de l'étranger.

Nous sommes donc arrivés à un tournant de l'histoire au niveau énergétique. Il faut d'une part réduire drastiquement la consommation, et d'autre part faire monter en puissance les énergies renouvelables dans notre mix énergétique. Ces deux axes majeurs guident d'ailleurs la politique du Ministre Nollet depuis son arrivée en matière d'énergie. Citons le lancement de l'alliance emploi-environnement et le renforcement des normes de performance énergétique des bâtiments au niveau de la consommation, la hausse des quotas de certificats verts jusque 2012 et le lancement d'études approfondies sur le plan des énergies renouvelables.

Mais il serait vain de mener ces politiques énergétiques ambitieuses si la dimension territoriale n'est pas

¹ Représentant de Jean-Marc Nollet, Ministre wallon du développement durable et de la fonction publique.



pleinement prise en compte. Comme le colloque l'annonce très justement, cette intégration est pertinente à différentes échelles d'analyse : celle de l'habitat, de l'agglomération et de la Région. La dimension territoriale concerne au premier chef le Ministre Henry dans le cadre de ses compétences liées à l'aménagement du territoire. Le Ministre Nollet soutient à cet égard le processus de réflexion actuellement mené pour un aboutir à un nouveau Schéma de développement de l'espace régional, ainsi que la structuration du territoire autour des noyaux d'habitat. Ces axes constituent des piliers essentiels pour réduire nos besoins énergétiques liés à nos activités et nos déplacements.

A cet égard, il me semble important de rappeler qu'en matière de carburants, la priorité doit être mise sur la maîtrise de la demande. Il s'agit d'ailleurs de la manière la plus simple et la moins onéreuse d'arriver à l'objectif de 10% de carburants alternatifs que l'Europe nous impose. C'est pourquoi la mobilité durable figure en bonne place dans la Déclaration de Politique Régionale. J'en veux pour preuve un des points phares de la DPR, relatif à l'évolution du réseau routier. En effet, pour la première fois sans doute depuis la création de la Région wallonne, le Gouvernement s'engage à mieux baliser le développement de nouveaux axes routiers afin de ne pas créer un appel d'air risquant d'augmenter à nouveau la pression du trafic de véhicules. Ainsi, « tout nouveau projet doit avoir fait, avant sa mise en œuvre, l'objet d'une évaluation budgétaire, juridique et environnementale stricte,

comprenant l'étude de plusieurs alternatives, un comptage sérieux du trafic concerné et la recherche de solutions les moins coûteuses ». Pour mettre un frein à l'hyper-mobilité que l'on a connu ces dernières décennies, il faut en effet jouer sur les deux leviers essentiels de la demande de mobilité que constituent la localisation des activités humaines et les infrastructures de transport.

La politique énergétique elle-même doit également intégrer pleinement la dimension territoriale. Je citerai à cet égard plusieurs initiatives que le Ministre de l'énergie a initiées durant cette première année de mandat.

A travers l'alliance emploi-environnement, il s'agit de viser la rénovation énergétique des logements les plus mal isolés, grâce notamment à la réforme des primes énergie et à l'action habitat pour tous. Mais il faut aller plus loin et le ciblage des priorités peut s'appuyer sur les travaux menés dans le cadre de la CPDT. La réflexion en cours sur la labellisation des bâtiments peut intégrer cette dimension territoriale.

Autre chantier important : la mise en place de normes de performance énergétique des bâtiments. Là également, la dimension spatiale doit être prise en compte. Ainsi, le niveau de la PEB dépend du caractère groupé ou non de l'habitat, ainsi que l'orientation de l'habitat par rapport aux apports solaires actifs ou passifs. L'optimisation de ces paramètres amène architectes et maîtres d'ouvrage à être particulièrement attentif à



la disposition des habitations, par exemple lors de la conception des nouveaux lotissements.

En matière d'éolien, l'engouement actuel pour les projets éoliens ainsi que les défis à l'horizon 2020, amènent les Ministres Nollet et Henry à mener conjointement une réflexion régionale sur un cadre de référence optimisé. Il convient en effet d'utiliser au mieux le gisement éolien présent sur le territoire wallon, tout en prenant dûment en compte l'ensemble des contraintes environnementales et territoriales.

Enfin, je terminerai ces illustrations par les réseaux de chaleur. Ceux-ci sont encore trop peu développés en Wallonie ; il est donc important d'avoir une réflexion sur les zones prioritaires à équiper en réseaux de chaleur, notamment par rapport à la concentration des besoins en chaleur et à la localisation des sources de chaleur. Ici aussi, l'expertise de la CPDT nous est particuliè-

rement utile, comme le sont également les récentes réalisations de réseaux de chaleur.

A travers ces quelques exemples, j'espère avoir pu vous convaincre que l'énergie et le territoire deviennent tellement imbriqués que l'on ne peut plus les envisager séparément, si l'on veut mener la Wallonie dans la voie du développement durable. C'est en tout cas l'orientation que le Ministre Nollet souhaite donner à la politique énergétique des prochaines années.

Je m'en voudrais d'être plus long. Place maintenant aux exposés des recherches récentes menées par la CPDT, ainsi qu'au regard que portent les experts et scientifiques étrangers. Le Ministre Jean-Marc Nollet lira en tout cas avec attention la motion de la CPDT qui sera issue de ce colloque. Je vous souhaite un beau succès !

Les autorités académiques

Les autorités académiques des trois universités étaient invitées à prononcer quelques mots de bienvenue, ce qui fut pour Pierre Wolper (vice-recteur à la recherche, ULg, Académie Wallonie-Europe), Benoît Macq (prorecteur au service à la Société, UCL, Académie

Louvain) et Michel Godefroid (vice-recteur à la recherche et au développement, ULB, Académie Wallonie-Bruxelles) l'occasion de positionner leur académie par rapport à la recherche, à l'aide à la décision et au travail spécifique de la CPDT.

Pierre Wolper,
Vice-recteur à la recherche, Université de Liège

Ladies and Gentlemen,

It is a double pleasure to welcome you to this meeting in the name of the University of Liège. First, it is a pleasure because the meeting is held in our city, which you will have the pleasure to discover. It is also a pleasure, as always, to have the opportunity to present and talk about our university.

I could talk about our 20 000 students, our international links our strong research and our prominent research centers in the life sciences or in aero-space research, or the fact that we have just taken on board the two architecture schools of our city, but I will try to focus on aspects of the university that are close to the theme of this meeting.

The conference is about territorial planning and thus I will switch to a somewhat geographical view of the University. This view will not be about our campuses and their location, but rather about the role of the university, which just as Liège is a transportation hub, I will define as an information hub.

Indeed, the information society needs information hubs, and universities are important ones. Of course, when we teach, we deliver information to our students,



Pierre Wolper — PHOTO F. DOR



but this information has to come from somewhere. Indeed, we cannot just teach what we learned, but need to be connected to the sources of new knowledge. There is no better way to do this than be yourself a source of new knowledge, which means being a research institution. Indeed, an important part of research is keeping up with what is done elsewhere, and thus we do have strong links to the international research community. Through its researchers, the university is thus an information hub between its students and the international research community.

The university also acts as an information hub for the businesses of our region, through research projects, consulting and services activities or training programs. I will just still only mention that, in an ever more technological society, where scientific and technical literacy too often does not keep up, we must act as an information hub towards the general public and shed light

on science, the questions it opens and the answers it provides.

This brings us rather naturally to the theme of this conference and I will first express my appreciation for the wise decision of the Walloon region to fund territorial development studies within the universities. Indeed, questions like this year's theme on global warming and territorial planning draw on so many different sources of information, that being in an information hub to study them is essential. There are indeed so many ways you can look at the problem.

You can think about it as an engineering problem: optimize energy use! But that will probably yield socially and politically unacceptable solutions and furthermore, it is extremely difficult to identify and quantify correctly all the parameters that have to be incorporated in the mathematical formulation of the problem. This is often

the case in pure engineering approaches, such as a (perfectly workable) proposal to spray sulfur dioxide in the stratosphere in order to reduce global warming. Are we ready to try it?

So this brings us to sociology, psychology and political sciences. What are people ready to accept in order to reduce global warming? An economist will argue that it is a matter of incentives and pricing. Maybe taxes levied when buying and selling a house are too high to make it feasible to influence people's choice on where to live. But taxes and planning rules are legal issues, so here is one more subject. Furthermore, beyond

location choosing a home is a matter of comfort and aesthetics, so we need the input of architects.

So we need to excel in all these areas and to connect them in order to do the best territorial planning research. But this is precisely our research policy: promote excellence; promote links, internationally within a discipline, across disciplines, or between research and industrial initiatives. To sum it up, our objective is to be a top information source and hub, for our students, our region and the world.

I wish you a most interesting and pleasant conference.

Benoît Macq,

Prorecteur au service à la société, Université Catholique de Louvain¹

Monsieur le Ministre,
Mesdames et Messieurs représentant la Région Wallonne,
Mesdames et Messieurs représentant les autorités académiques de la Région Wallonne,
Chers collègues,

L'Université catholique de Louvain est très heureuse que son Centre d'Etude en Aménagement du Territoire, le CREAT, fasse partie des chevilles ouvrières de ce colloque en bonne synergie avec les collègues des Académies Wallonie-Bruxelles et Wallonie-Europe.

Les Universités modernes articulent leur enseignement et leur recherche avec une troisième mission, que l'on nomme souvent « service à la société ». Cette troisième mission veut mettre en résonance les projets de recherche et les activités d'enseignement avec, notamment, une implication de l'Université dans le tissu socio-économique de sa Région.

Cette implication se fait en cohérence selon deux axes :
Le premier axe est la cohérence de cette troisième



Isabelle Lermuseau — PHOTO F. DOR

mission par rapport aux valeurs portées par notre Université. Ces valeurs humanistes incluent le souci d'un développement durable, équitable, conduit par une éthique du respect de tous, vivant aujourd'hui et demain.

Le deuxième axe est la cohérence de cette activité de service par rapport aux projets de recherche et d'enseignement. Un service à la société doit se nourrir d'un projet de recherche et lui renvoyer des nouveaux

¹ Benoît Macq, excusé, était représenté par Isabelle Lermuseau.

questionnements. Il doit aussi alimenter les projets d'enseignement.

Notre Université a privilégié une approche du service à la société selon cinq pôles, à savoir :

- la Coopération au développement,
- le Transfert de Technologie, notamment par la création d'entreprises innovantes,
- l'Apport d'expertise au tissu socio-économique de la Région,
- le Développement régional,
- et enfin, le Développement durable.

Votre colloque souligne bien le lien entre les différents axes d'action et le lien avec trois des cinq pôles d'action de notre Université, à savoir : apport d'expertise, développement régional et développement durable.

L'activité du CREAT correspond également à cette démarche. Le CREAT est issu d'une activité des pères

fondeurs de Louvain-la-Neuve qui voulaient accompagner la création de la ville avec une unité de recherche en urbanisme. Le CREAT a constitué un lieu d'expérimentation essentiel pour la formation en urbanisme à l'UCL. C'est devenu également un lieu d'expertise pour la formation et pour l'aide à la décision des décideurs en matière d'urbanisme et d'aménagement du territoire, notamment les autorités administratives de la Région wallonne.

Nous tenons à remercier chaleureusement la Région wallonne pour son soutien, notamment au travers de la Conférence Permanente du Développement Territorial, la CPDT, soutien qui permet de capitaliser l'expertise acquise, d'intensifier son interaction avec les acteurs de terrain et favorise une synergie accrue avec nos partenaires de Bruxelles et de Liège.

A nom du Recteur de l'UCL et de l'équipe rectorale, je vous souhaite un colloque très fructueux.



Marie-Françoise Godart — PHOTO F. DOR

Michel Godefroid,
Vice-recteur pour la recherche et le développement,
Université Libre de Bruxelles²

Lors de sa création, la Conférence Permanente du Développement Territorial (la CPDT) avait pour objectif de fédérer les forces vives actives dans le développement territorial wallon. Les différents ministres du Gouvernement wallon, l'administration et les trois universités complètes étaient associés pour faire progresser les connaissances en aménagement du territoire. Après douze ans de fonctionnement, la CPDT rencontre, le plus souvent avec succès, le délicat défi de concilier le fonctionnement et les attentes du monde politique, de l'administration et des universités.

Les différentes périodes de subvention ont marqué l'évolution de la CPDT, en élargissant le champ de confrontation puisqu'aux études plus fondamentales, et menées en commun par les trois universités, se

² Michel Godefroid, excusé, était représenté par Marie-Françoise Godart.



sont associées productions doctorales, expertises et formation continuée des conseillers en aménagement du territoire et urbanisme.

L'évaluation du fonctionnement de la CPDT réalisée cet été a pointé quelques difficultés et incompréhensions qui subsistent dans le chef des partenaires. C'est pourquoi, les partenaires universitaires, et notamment ceux de l'ULB, ont entamé une réflexion sur leur fonctionnement interne afin de se donner les moyens d'améliorer le fonctionnement et la communication. Mais l'évaluation a surtout mis en évidence l'attachement des différents acteurs au processus et une production scientifique abondante, malheureusement peu valorisée par les canaux classiques de diffusion du savoir scientifique. Les recherches doctorales, couronnées récemment par l'attribution du titre de docteur aux chercheurs concernés, contribuent à combler cette lacune et assurent une diffusion plus large de l'expertise de la CPDT au sein du monde académique.

Fort de son expérience et des résultats engrangés par les nombreuses recherches, la CPDT est devenue un acteur essentiel dans les processus de réflexion sur l'avenir du territoire wallon, qui apporte son savoir-faire aux acteurs wallons, à travers ses diverses missions. Une réflexion de fond a été menée au sein des équipes

universitaires pour mettre en évidence les grands enjeux de société des prochaines années, en lien avec le territoire et les réponses évoquées à la crise actuelle. C'est dans le cadre de l'une de ces réflexions que se situe le présent colloque, dédié à des constats et des propositions sur les effets des défis énergétiques actuels sur le territoire, et donc sur le mode de vie des Wallons.

La nouvelle période de subvention qui démarre en ce mois de novembre s'articule autour de l'actualisation du Schéma de Développement de l'Espace Régional (le SDER) tout en continuant de nourrir le programme de formation des Conseillers en aménagement du territoire et urbanisme. Dans ce cadre, les équipes de chercheurs poursuivront leurs thèmes de recherches, mais l'essentiel des forces sera mobilisé pour la mise à jour du diagnostic nécessaire à l'actualisation du SDER.

Pour ce faire, il sera plus nécessaire que jamais de s'appuyer sur les fondements de la Conférence : l'échange et le dialogue critique au sein des universités, entre les universités et entre les trois partenaires institutionnels. La production d'un diagnostic commun imposera une collaboration interuniversitaire accrue. En outre, les chercheurs seniors devront s'appuyer sur les résultats accumulés pendant les douze années de

recherches au sein de la CPDT pour produire un diagnostic efficace et pertinent.

La CPDT est une structure originale, qui a démontré sa capacité à produire des résultats intéressants tant pour le monde académique que pour les décideurs. Malgré sa complexité en raison du nombre d'acteurs, elle est un modèle de collaboration fécond, tant sur le plan des résultats que sur le plan humain. Son fonctionnement permet les échanges, les confrontations et l'apprentissage de la négociation si chère à notre pays. Dans le monde actuel, accordant trop souvent priorité à la rentabilité immédiate plutôt qu'à la réflexion sur le devenir de l'humanité, la CPDT reste un îlot de coopération et de recherche désintéressée.

Loin de céder à la mode du financement de la recherche par le secteur privé, le Gouvernement wallon assure avec courage le financement des recherches dans ce domaine de l'aménagement du territoire, original pour le monde académique, mais combien crucial pour l'avenir de nos sociétés en ce qu'il permet de structurer aussi rationnellement que possible le territoire. Ce faisant, le gouvernement s'expose à recevoir des résultats parfois peu en adéquation avec ses orientations politiques et à voir remises en question certaines de ses décisions. Il convient de le saluer pour ce choix.

La mise en place d'une nouvelle période de subvention de doctorats au sein de la chaire interuniversitaire, est aussi l'occasion de rappeler la nécessaire indépendance des doctorants, qui doivent travailler en dehors de toute contrainte, tant en terme de choix du sujet de recherche que d'orientation de la recherche pour exprimer leur plein potentiel. La garantie d'une recherche de qualité est bien évidemment assurée par l'accompagnement scientifique, tel que défini au sein des écoles doctorales. Pour autant, l'esprit de la CPDT, fondée sur la mise en commun des savoirs et des méthodes développés au sein des universités partenaires, doit également s'appliquer aux doctorants qui peuvent bénéficier des connaissances accumulées par les différents équipes de recherche, mais aussi assurer le retour de leurs résultats, dès que ceux-ci prennent une forme diffusable.

Fidèle à l'esprit des pionniers de la CPDT, l'Université Libre de Bruxelles est fière d'avoir été associée au processus de la Conférence Permanente du Développement Territorial et souhaite poursuivre son rôle de partenaire actif dans l'évolution du processus, tout en renforçant les liens fondamentaux entre Bruxelles et la Wallonie, devenus essentiels en ces temps de crise institutionnelle.

Anticipation des effets du pic pétrolier sur le territoire wallon

Anticipation of the oil peak effects on the walloon territory

C. Bazet-Simoni¹, P. Obsomer¹, F. Quadu², V. Rousseaux², M. Servais², T. Zeimes², T. Bréchet²

Il est évident pour chacun que le pétrole est une ressource finie. Une question préliminaire à cette étude est de comprendre le calendrier de cet épuisement attendu, et ses impacts. Mais l'objectif principal de la recherche est d'évaluer dans quelle mesure l'aménagement du territoire peut contribuer à faire face à ce défi. Pour cela, une analyse double a été menée, d'une part sur le « temps court » (2025) et d'autre part sur le « temps long » (2050). Sur le temps court, il apparaît que les communes les plus vulnérables à un renchérissement du prix du pétrole sont les communes rurales. Sur le temps long, une manière efficace de réduire notre dépendance au pétrole est de rapprocher emplois et habitat afin de minimiser les déplacements. Ces résultats suggèrent de mieux structurer le territoire, tant à l'échelle régionale que communale. Ils montrent également que les impacts peuvent être très différents d'une commune à l'autre, ce qui appelle des mesures complémentaires. Sur la base de cette analyse, l'étude propose une série de modifications du SDER.

It is obvious to each and all that oil is a finite resource. A preliminary question in this study is to understand the timetable of this expected exhaustion, and its impacts. But the main aim of the research is to assess the extent to which regional planning could help to confront this challenge. For that, a double analysis has been conducted, on the one hand, "short term" (2025) and on the other, "long term" (2050). In the short term, it would appear that the municipalities that are the most vulnerable to an oil price hike are the rural ones. In the long term, an effective way of reducing our oil dependency would be to bring work and home closer together in order to minimise commuting. These results suggest that the territory should be better structured, on a regional and municipal scale alike. They also show that the impacts can be decidedly different from one municipality to another, which calls for additional measures. On the basis of this analysis, the study is proposing a series of changes to the RSDS.

Mots-clé : Pic pétrolier, aménagement du territoire, mobilité, transport, logement, agriculture, SDER

Keywords : Oil peak, regional planning, mobility, transport, housing, agriculture, RSDS

¹ CPDT - ULB

² CPDT - UCL

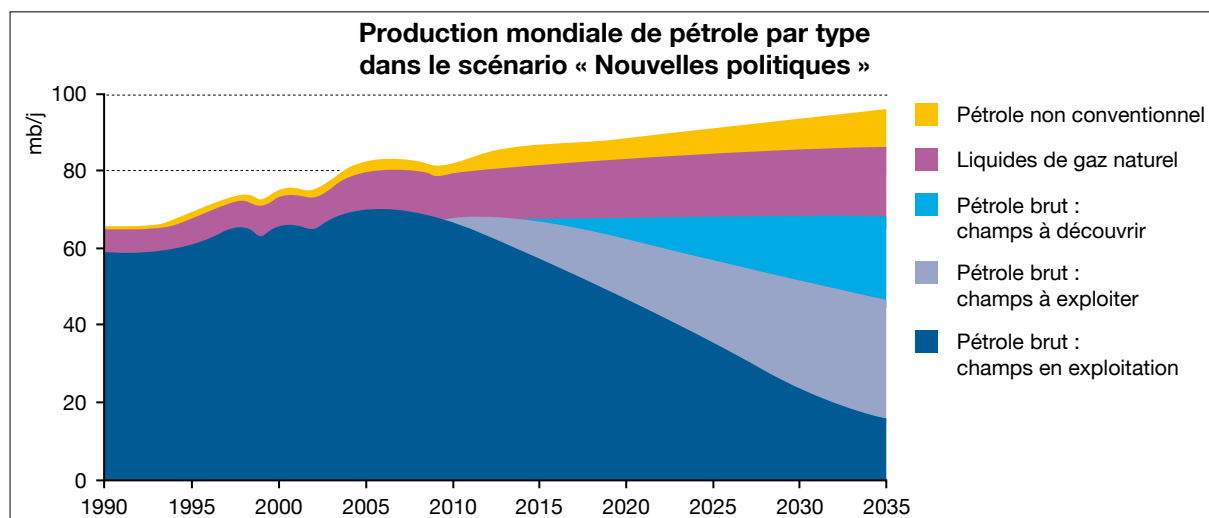
Le pic pétrolier est-il derrière nous ?²

L'expression « pic pétrolier » désigne le moment à partir duquel, pour des raisons géologiques et/ou économiques, la production de pétrole commence à stagner puis à diminuer. Généralement l'expression s'applique au pétrole brut (dit aussi conventionnel) qui est le plus facile à extraire et à raffiner, et donc le moins cher à produire. Selon le scénario de référence établi par l'IEA³ en 2010, le maximum de production de pétrole brut a été atteint en 2006. Pour ce type de pétrole, on se situe dorénavant sur un plateau, avec une production qui se maintiendra aux alentours de 68-69 millions de barils par jour. Cette projection suppose néanmoins que les investissements nécessaires soient réalisés pour l'exploration (découverte de nouveaux champs pétroliers) comme pour l'exploitation (mise en production). La totalité des champs à découvrir ou à exploiter se situera dans les pays de l'OPEP.

Si la production mondiale de produits pétroliers continue à croître légèrement jusqu'en 2035 dans le scénario de référence de l'IEA, c'est grâce aux liquides de gaz naturel et aux pétroles non-conventionnels. Ces derniers comprennent notamment les sables et les schistes bitumineux, qui constituent d'énormes réserves potentielles mais dont la production est très coûteuse et très polluante. Leur part dans la production mondiale semble devoir rester modeste.

A l'horizon 2035, toujours dans le même scénario, le prix moyen du pétrole brut aura pratiquement doublé : 113 \$ le baril (en dollars de 2009) contre à peine 60 \$ en 2009⁴.

L'AIE tire de ce scénario la conclusion suivante : « Si les gouvernements ne font rien ou peu de choses de



² Cette partie a été actualisée pour tenir compte du WEO 2010 paru le 9 novembre 2010, c'est-à-dire le lendemain de l'exposé de Th. Bréchet au du colloque de la CPDT.

³ L'International Energy Agency (IEA) est une émanation de l'OCDE. Elle publie annuellement le World Energy Outlook (WEO) qui fait le point sur l'offre et la demande en énergie et établit des projections à moyen terme selon plusieurs scénarios. Dans le WEO 2010, le scénario de référence est appelé scénario « Nouvelles politiques ».

⁴ World Energy Outlook 2010, résumé, p. 7 (http://www.iea.org/weo/docs/weo2010/weo2010_es_french.pdf).

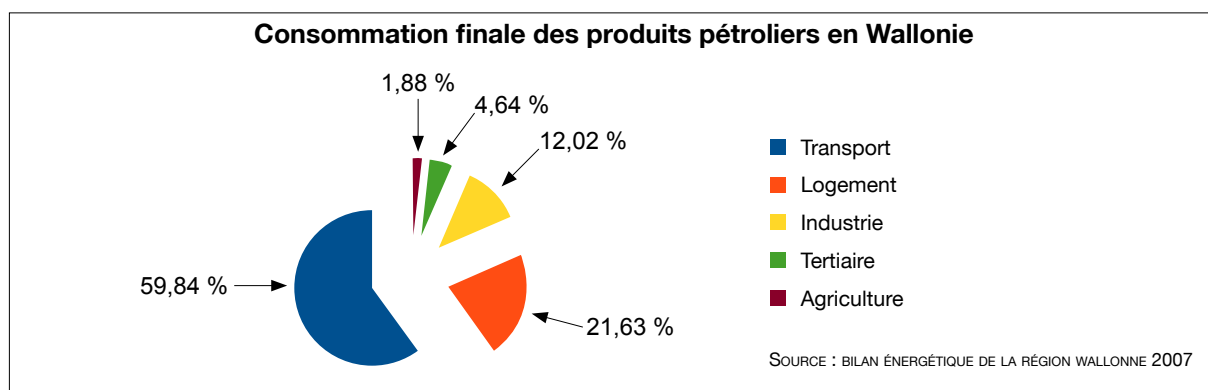
plus qu'à l'heure actuelle, la demande continuera à croître, les coûts des approvisionnements augmenteront, le fardeau économique de la consommation de pétrole s'alourdira, la vulnérabilité face aux ruptures d'approvisionnement s'aggravera et l'environnement mondial subira des dommages considérables »⁵. C'est

afin d'éviter sinon limiter ces problèmes que le Gouvernement wallon a chargé la CPDT de réfléchir à l'anticipation des effets du « pic pétrolier » sur le territoire à l'horizon 2050 et aux stratégies à adopter pour maîtriser ces effets.

« Temps court » et « temps long »

Il s'agit là d'une problématique complexe, surtout lorsque l'horizon proposé est lointain. La méthodologie de la recherche a été adaptée à ce constat sur la base des notions de « temps court » et de « temps long » utilisées en prospective. Dans le cas du temps court, le contexte global reste similaire à celui que nous connaissons, tandis que pour le temps long des changements majeurs peuvent modifier l'ensemble du système.

Pour le temps court (2025), l'évolution des consommations et productions de pétrole est influencée par le prix d'équilibre sur le marché pétrolier. L'approche adoptée consiste à analyser les vulnérabilités, les élasticités et les évolutions possibles des consommations⁶ et des comportements, ainsi que leurs répercussions sur le territoire.



⁵ *Idem, ibidem.*

⁶ Cette approche a été complétée par une projection réalisée par le Bureau fédéral du Plan et l'IWEPS avec le modèle HERMREG, en supposant un doublement du prix du baril (170 euros constants en termes réels) sur dix années. Par rapport à la projection de référence, ce doublement du prix du baril se traduit par une réduction du PIB de 2,2 % après dix ans, avec certains effets sectoriels très marqués. Du point de vue de la consommation des ménages, les coûts des dépenses de chauffage augmentent de 40,6 % et en réaction les ménages réduisent leur consommation de 13,3 %. Pour les carburants, le diesel augmente de 40,2 %, entraînant une réduction de la consommation de 14,7 %, tandis que la hausse de l'essence est moins marquée et provoque une baisse de la consommation de 8,6 %. Les prix alimentaires augmentent de 6,2 %.

Pour aborder les effets possibles à plus long terme (2050), une approche prospectiviste et systémique a été réalisée. Elle s'est appuyée sur les éléments que l'approche à moyen terme a fait apparaître, même s'il n'y a pas de continuité temporelle entre les deux approches. Plusieurs scénarios d'aménagement du territoire ont été imaginés puis construits de manière logique, et leur bilan énergétique a été dressé.

Cette double approche a permis de proposer des orien-

tations susceptibles d'être intégrées dans le SDER lors de sa révision.

Trois secteurs ont été particulièrement étudiés : le logement, la mobilité et l'agriculture. Les deux premiers totalisent à eux seuls plus de 80 % de la consommation de pétrole en Wallonie. L'agriculture est quant à elle un petit consommateur, mais sera fortement impactée de différentes manières par l'augmentation des prix énergétiques. Son rôle (l'alimentation) est primordial.

Vulnérabilités à l'horizon 2025

Le volet « temps court » prend pour hypothèse (tout à fait plausible) un doublement des prix pétroliers et examine ses conséquences sur le territoire. L'objectif est d'évaluer la vulnérabilité des communes wallonnes, avec leurs caractéristiques actuelles et selon différentes hypothèses réalistes, face à un tel renchérissement. Par vulnérabilité on entend ici la part du revenu médian consacrée au chauffage ou aux transports. La vulnérabilité de l'agriculture fait l'objet d'une approche spécifique.

Vulnérabilité logement

Les dépenses en chauffage dépendent des caractéristiques des logements : situation, taille, nombre de façades, isolation, type de chauffage, etc. Au prix actuel du mazout de chauffage, la part du revenu médian consacrée à ce poste en Wallonie est de 4 %. A l'échelle des communes, toutefois, on peut constater des différences importantes, qui s'expliquent par les caractéristiques des parcs (par exemple, il y a moins de maisons quatre façades en ville) mais aussi par le climat plus rigoureux en Ardenne et par l'inégalité des revenus communaux médians.

Les scénarios concernant le logement à l'horizon 2025 supposent un doublement des prix pétroliers. Si le parc est maintenu dans ses caractéristiques actuelles, la part du chauffage dans le revenu médian passe à 8,6 %, avec des variantes communales allant de 4 % à plus de 16 %. Si on suppose que la moitié du parc est

isolé aux normes actuelles et que 15 % des logements sont en outre densifiés (logements à trois ou quatre façades remplacés par des deux façades ou des appartements), la vulnérabilité moyenne passe à 7 % pour l'ensemble de la région et ne dépasse plus 14 % dans les communes les plus fortement touchées.

Vulnérabilité mobilité

La dépendance du secteur des transports vis-à-vis du pétrole est extrêmement forte puisqu'il représente en Wallonie 97,5 % de l'énergie utilisée pour les déplacements des personnes comme des marchandises. Aucune alternative (électricité, hydrogène, etc.) ne paraît pouvoir permettre à court ou moyen terme le remplacement des véhicules actuels avec les mêmes caractéristiques d'autonomie, de vitesse, de puissance, de coût, etc., et ce d'autant moins que le nombre de kilomètres parcourus ne cesse de croître au niveau mondial comme au niveau de la Wallonie. Cette problématique, on le sait, est très étroitement liée à l'aménagement du territoire. La forme de l'urbanisation, sa densité et sa mixité favorisent l'usage de la voiture individuelle et les distances parcourues.

L'étude s'est appuyée sur les déplacements domicile-travail (les seuls pour lesquels des données complètes sont disponibles), qui sont les plus structurants sur le plan spatial. La vulnérabilité actuelle, calculée sur le même principe que celle du logement, fait apparaître également des différences importantes entre les com-

munes. Ces inégalités s'expliquent par l'éloignement par rapport aux villes et par l'offre existante en train et en bus. Il est toutefois remarquable qu'aucune commune ne soit en-dessous de 60 % de déplacements domicile-travail réalisés en voiture.

Synthèse de ces deux vulnérabilités

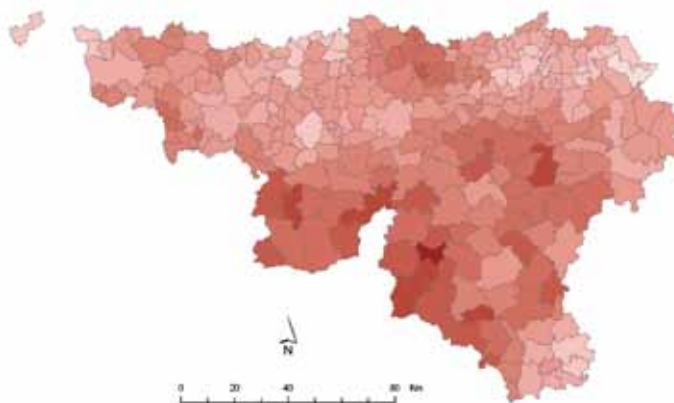
La combinaison des vulnérabilités logement et mobilité fait clairement apparaître la bonne résilience des

villes, malgré un revenu médian peu élevé. Les communes urbaines bénéficient en effet non seulement d'un parc de logements plus petits et plus souvent mitoyens (quoiqu'en partie vétustes) et de la présence du gaz naturel, mais aussi de déplacements domicile-travail plus courts et plus souvent réalisés en transports en commun ou à pied. Les communes les plus rurales (au sens de : éloignées des villes) seront les plus impactées par l'augmentation des prix pétroliers. En effet leurs revenus médians sont plutôt faibles, les

Vulnérabilité logement + mobilité, prix actuels des combustibles et carburants

Vulnérabilité 2001
Mobilité et chauffage (%)

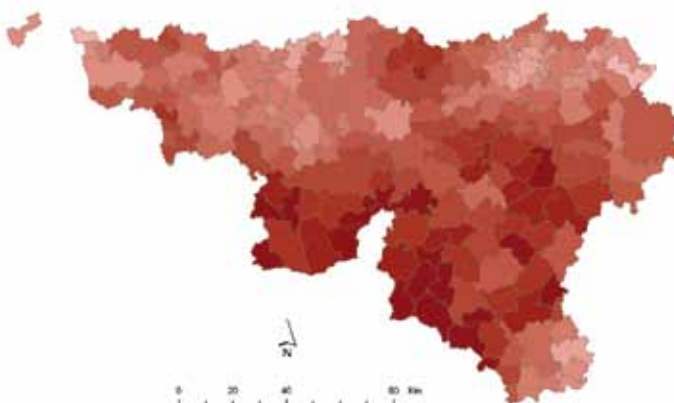
- < 8
- 8 - 10
- 10,1 - 12
- 12,1 - 14
- 14,1 - 16
- 16,1 - 18
- 18,1 - 20
- 20,1 - 22
- 22,1 - 24
- 24,1 - 26
- 26,1 - 28
- > 28



Vulnérabilité logement + mobilité, prix des combustibles et carburants doublés

Vulnérabilité 2001
Mobilité et chauffage (%)

- < 8
- 8 - 10
- 10,1 - 12
- 12,1 - 14
- 14,1 - 16
- 16,1 - 18
- 18,1 - 20
- 20,1 - 22
- 22,1 - 24
- 24,1 - 26
- 26,1 - 28
- > 28



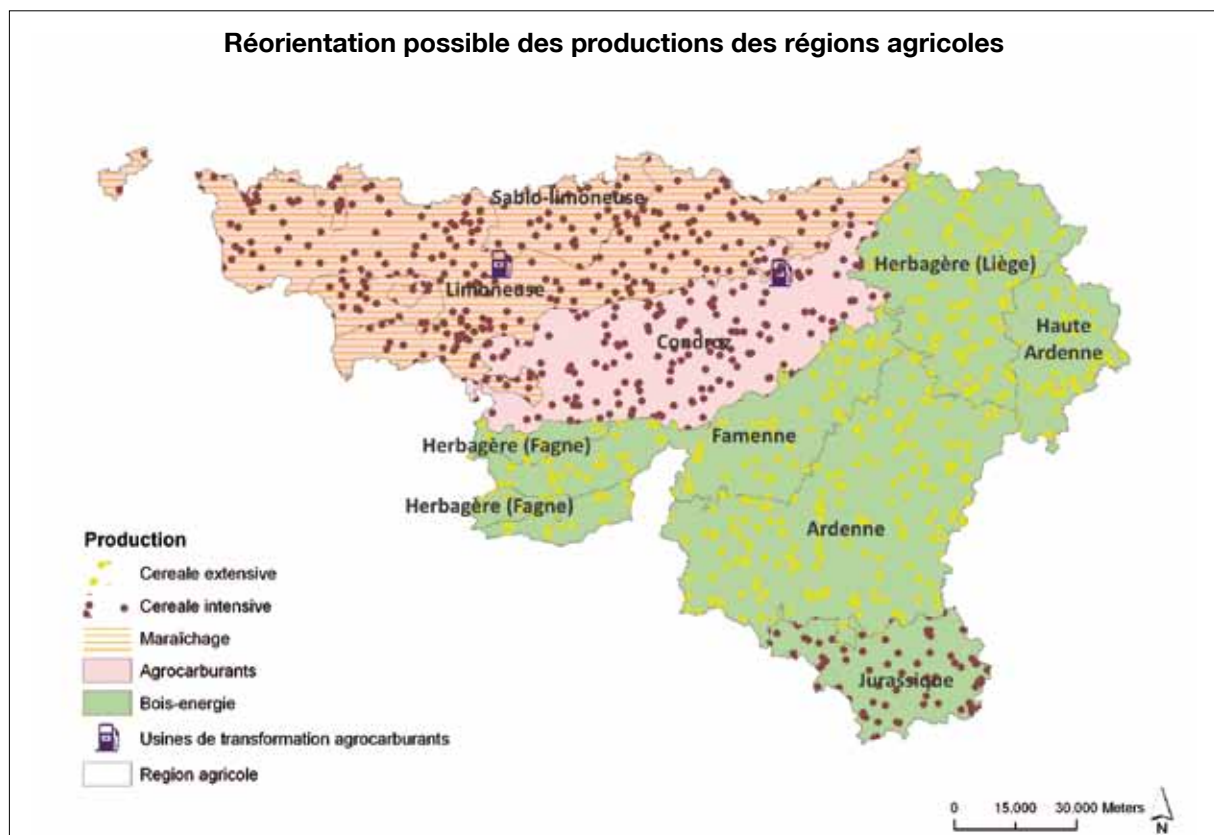
caractéristiques de leurs logements et l'absence du gaz naturel les rendent plus grands consommateurs de mazout et les déplacements domicile-travail y sont plus longs et plus dépendants de la voiture. Enfin, les communes périurbaines offrent une résilience intermédiaire : des distances domicile-travail élevées, des logements de grande taille et souvent non mitoyens, mais dont la vulnérabilité est compensée par un parc immobilier plus récent et bien entretenu ainsi que par des revenus élevés.

Notons enfin que les ruptures d'approvisionnement éventuelles en pétrole (sans lien avec les revenus) auront des conséquences plus importantes sur les communes éloignées des villes et non desservies par le gaz. Ce dernier est cependant lui aussi susceptible de connaître des ruptures.

Agriculture

L'agriculture est fortement dépendante de l'énergie en général (le gaz par exemple est nécessaire à la fabrication des engrais de synthèse) et du pétrole en particulier (combustibles et carburants). Elle est en outre dépendante des transports (approvisionnement et distribution). Les systèmes hors sol sont les plus grands consommateurs d'énergie, au contraire de l'agrobiologie qui dispose d'une bien meilleure résilience.

L'utilisation rationnelle de l'énergie dans l'exploitation permet de réduire sensiblement cette dépendance. Elle permettrait même de compenser un doublement des prix pétroliers. A terme, cependant, il est probable que l'agriculture se modifiera progressivement de façon à répondre aux enjeux énergétiques, que ce soit



par la culture d'agrocarburants ou par la mise en place de circuits courts qui supposeraient une réorientation partielle vers le maraîchage. Une nouvelle géographie agricole pourrait ainsi voir le jour.

Autres secteurs

Globalement, les autres secteurs économiques qui sont actuellement dépendants du pétrole devraient pouvoir progressivement s'adapter en diminuant leur consommation et/ou en ayant recours à d'autres formes d'énergie. L'isolation des bâtiments et les mesures d'utilisation rationnelle de l'énergie devraient rendre le secteur des services moins énergivore. L'industrie wallonne n'est dépendante du pétrole qu'à 11 % (essentiellement dans la cimenterie et la verrerie). Le gaz, dont les réserves sont plus abondantes que celles de pétrole, constitue une solution potentielle pendant quelques dizaines d'années encore mais dont la sécurité d'approvisionnement dépend fortement du contexte géopolitique et des relations avec les pays producteurs.

Toutefois, les secteurs économiques fortement liés aux transports, comme la logistique ou le tourisme, souffriront plus nettement de l'augmentation des prix pé-

troliers et devront se réorienter en profondeur. Enfin, le commerce de détail, sous la forme la plus contemporaine du centre commercial suburbain, pourrait connaître une évolution vers de plus petites unités assurant un meilleur maillage du territoire dans les parties les plus densément peuplées. Ici aussi, les territoires les plus ruraux seront les plus fragilisés, malgré un possible renforcement des centralités villageoises anciennes.

Conclusions pour l'horizon 2025

Trois conclusions principales peuvent être retenues de l'approche « temps court » :

- le renchérissement du pétrole va surtout voir des impacts dans les communes rurales (réduction de leur attractivité résidentielle relative) ;
- les villes sont plus résilientes, mais doivent repenser leur relation avec l'espace périurbain et se préparer à une éventuelle pression démographique (retour partiel en ville) ;
- la différence entre communes rurales et urbaines retrouvera donc son importance, et la mobilité y jouera un rôle clé. La complémentarité ville/campagne devra être repensée.

Prospective 2050

Pour l'approche « temps long », un modèle de simulation et d'optimisation a été développé : le modèle MILES (Mobility Location Integrated Energy System). Il permet l'élaboration de scénarios intégrant des hypothèses relatives à la localisation des emplois et des populations, aux déplacements domicile-travail, au choix des modes de transport (voiture, train, etc.), aux types de logement et aux modes de production et d'alimentation.

Le modèle MILES est un modèle d'optimisation linéaire qui minimise la distance parcourue pour les déplacements domicile-travail. Il repère les cas où un déplacement pourrait être évité si deux travailleurs permutaient leur domicile pour se rapprocher de leur emploi. Il n'est évidemment pas réaliste d'imaginer que

ce soit toujours possible, mais on peut considérer que certaines de ces permutations sont envisageables. Le but est essentiellement de tester l'efficacité de divers scénarios afin de baliser les grandes orientations stratégiques de demain.

Un scénario de référence a été réalisé. Sur la base d'une optimisation des déplacements actuels, il suppose une augmentation de 20 % de la population, conformément aux projections du Bureau fédéral du Plan pour 2050. Une vingtaine de scénarios (ou de variantes de scénarios) ont été construits sur cette base. Ils sont tous présentés en écart (en %) par rapport à ce scénario de référence. Nous en résumons deux ci-dessous.

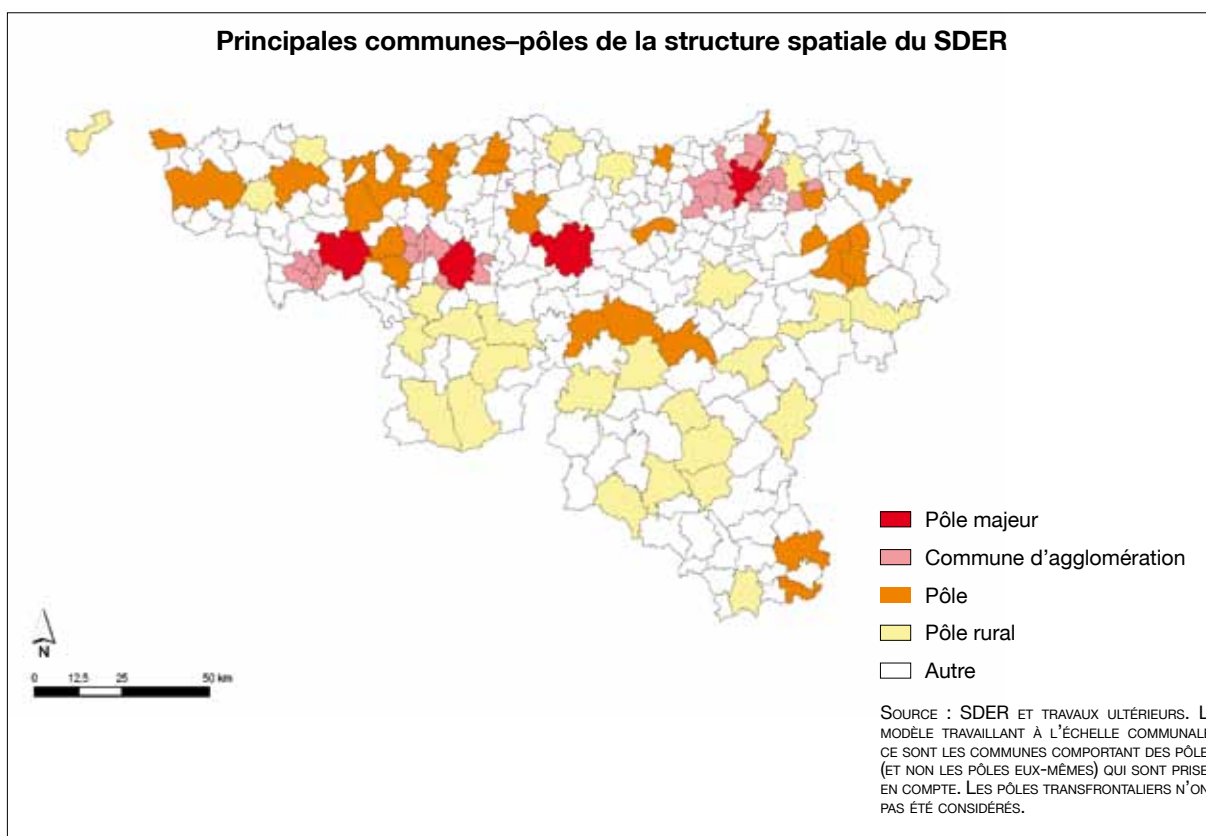
Le scénario « SDER »

Le scénario « SDER » suppose la réalisation effective des recommandations du SDER⁷ et plus particulièrement la mise en œuvre de sa structure spatiale. Outre la minimisation des déplacements domicile-travail, il est construit sur les hypothèses suivantes :

- un maximum de 10 % des emplois peut se relocaliser ;
- la population située hors des pôles du SDER est diminuée de moitié et celle des pôles ruraux est réduite de 25 % ; ces populations sont relocalisées pour moitié dans les pôles majeurs et pour moitié dans les communes d'agglomération ;

- la part modale de la voiture est réduite de 40 % ;
- l'alimentation est pour un quart biologique et pour un autre quart moins carnée (conformément aux recommandations de l'OMS), le reste étant conforme aux pratiques actuelles.

Ce scénario se traduit par une baisse de la consommation totale de pétrole de près de 40 %. Une partie importante de cette diminution s'explique par la réduction des déplacements due aux permutations d'habitants ainsi que par la relocalisation de 10 % des emplois. La concentration de la population dans les pôles du SDER a cependant un effet positif qui est loin d'être négligeable.



7 Schéma de développement de l'espace régional adopté par le Gouvernement wallon en 1999.

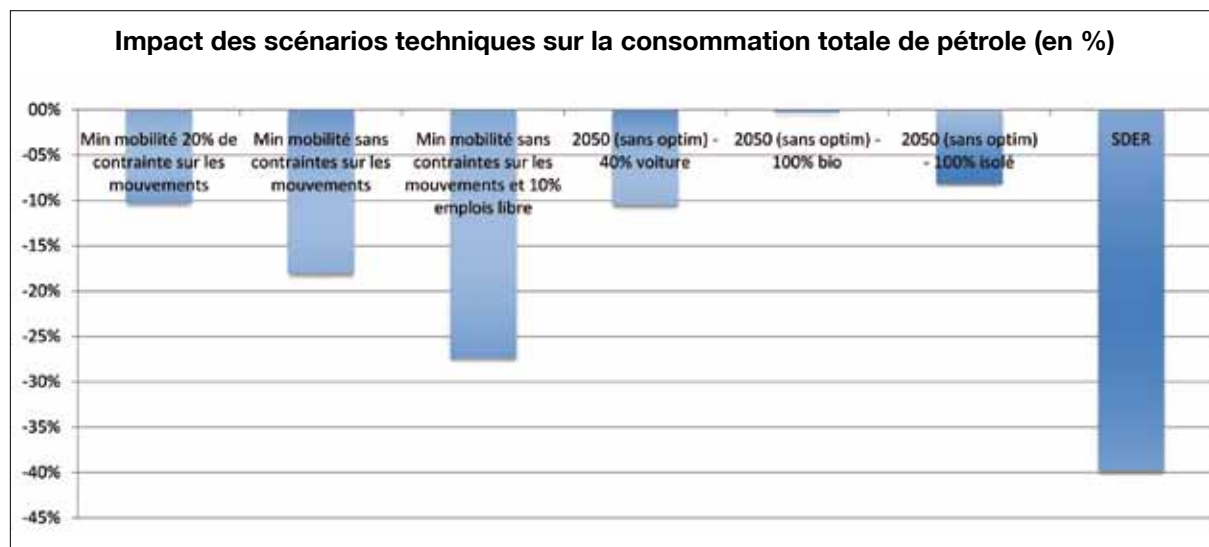
Le scénario « dispersion »

A l'inverse du précédent, le scénario « Dispersion » suppose une déconcentration de la population :

- celle des pôles majeurs est réduite de 50 % et celle des communes d'agglomération de 25 % ;
- cette population est relocalisée pour moitié dans les pôles ruraux et pour moitié dans les communes non-pôles.

Les autres hypothèses sont identiques à celles du scénario « SDER ».

Comme le montre le graphique ci-dessous, la réduction de la consommation de pétrole est nettement moindre dans le scénario « Dispersion » que dans le scénario « SDER ». La diminution constatée s'explique essentiellement par la permutation des habitants que tous les scénarios prennent pour base. Le scénario « dispersion » est clairement le moins efficace.



Autres scénarios

Les deux autres scénarios de type spatial qui ont été développés montrent notamment qu'une surconcentration des habitants (dans « Polyville ») n'est pas efficace si les emplois ne suivent pas et qu'une relocalisation plus massive des emplois près des résidences (« FlexiJobs ») ne permet d'économiser que quelques pourcents en plus.

Parmi les scénarios jouant sur les reports de mode, le scénario « CarElec » obtient un très bon score. Il suppose que les déplacements en voiture sont réduits de 40 % et que les trois quarts de ceux qui restent sont réalisés en voiture électrique. Ce qu'il est intéressant d'observer dans ce cas, c'est que la consommation d'électricité augmente de 25 % pour un gain de 5 % de pétrole. Par ailleurs, ce scénario est aussi celui qui permet la réduction la plus forte des émissions de CO₂.

Recommandations

Les approches « temps court » et « temps long » permettent de proposer plusieurs types de mesures d'aménagement du territoire (au sens large) à inscrire dans le SDER pour réduire la dépendance au pétrole de la Wallonie et de ses habitants.

Le premier groupe de mesures vise à réduire les déplacements domicile-travail. Les politiques qui peuvent être mises en place dans cet objectif sont variées. Il s'agit par exemple de :

- une modification de la fiscalité sur les mutations résidentielles ;
- une réorientation de la politique du logement vers le locatif ;
- la densification de l'habitat (effet réducteur potentiel sur les déplacements domicile-travail), mais dans certaines limites ;
- la mise à disposition des travailleurs de logements proches de leur emploi à des prix adaptés ;
- la définition des noyaux d'habitat, efficace pour la spatialisation des politiques mais aussi pour la conscientisation des habitants ;
- l'encouragement au télétravail.

D'autres types de mesures à conseiller, qu'on ne détaillera pas ici parce qu'elles sont bien connues, sont celles qui favorisent le report de mode et celles qui permettent de rendre le parc résidentiel moins énergivore (regrouper l'habitat, mieux isoler, utiliser le gaz naturel ou les énergies renouvelables, etc.).

Concernant l'agriculture, outre les mesures d'utilisation rationnelle de l'énergie déjà évoquées, il faut mettre en évidence la nécessité de préserver l'espace agricole pour viser une plus grande autonomie alimentaire et/ou permettre la production d'agrocarburants. Passer à une alimentation moins carnée est une mesure efficace de ce point de vue (ce qui n'est pas le cas du « bio »).

Certaines de ces mesures seront plus efficaces que d'autres et sont donc à mettre en œuvre prioritairement. Il faut aussi tenir compte de ce que certaines mesures s'influencent mutuellement, et rechercher les synergies possibles.

Conclusions

L'augmentation des prix pétroliers va provoquer des bouleversements importants dans l'utilisation de l'espace. En effet, depuis cinquante ans l'aménagement du territoire s'appuyait sur une énergie abondante et bon marché. Ce ne sera plus le cas dans l'avenir.

Notre analyse a souligné les points suivants :

- l'approche « temps court » a montré que les communes rurales (les plus éloignées des villes) seront les plus vulnérables face au pétrole cher ;
- l'approche « temps long » a montré le gain important qui pourrait être obtenu par une réduction des déplacements entre domicile et travail. De nombreuses mesures allant dans ce sens relèvent de l'aménagement du territoire.

Les deux approches ont montré que le mouvement de dispersion de l'habitat et de l'emploi (qui se poursuit encore aujourd'hui) devrait s'inverser au fur et à mesure que les prix pétroliers augmenteront.

Anticiper ce renversement et restructurer le territoire grâce aux outils d'aménagement, au premier rang desquels le SDER, permettra de réduire les coûts économiques et sociaux de cette transition.

La densification raisonnée des pôles de la structure spatiale du SDER et des noyaux d'habitat, dans une démarche programmatique ambitieuse, semble une réponse adaptée à ce défi.

Bibliographie

- ASCHER F. (2001). *Les nouveaux principes de l'urbanisme*, Ed. de l'Aube, La Tour d'Aigues.
- BAUDEWYNS D., BOSSIER F. (2010). *Impacts macroéconomiques d'un doublement du prix du baril de pétrole en Région wallonne*, Simulation avec les modèles HERMES et HERMREG. Bureau fédéral du Plan, rapport pour la CPDT.
- BRECHET TH., VAN BRUSSELEN P. (2007). *Le pic pétrolier : un regard d'économiste*, Reflets et perspectives de la vie économique 2007/4.
- BROCORENS P. (2007). *Pic du pétrole et pic du gaz*, Université de Mons-Hainaut.
- CENTRE DE RECHERCHES AGRONOMIQUES DE WALLONIE (CRA-W), Valbiom, Service public de Wallonie (SPW) (2009). *Besoins en énergie des exploitations agricoles : état des lieux en Région wallonne*. Rapport préliminaire.
- COMMISSION EUROPÉENNE, DIRECTION GÉNÉRALE DE LA RECHERCHE (2005). *World Energy Technology Outlook – 2050* (« WE-TO-H² »).
- COUTURIER ET AL. (2003). *Douze propositions pour lutter contre le changement climatique dans le secteur de l'agriculture*. Solagro.
- DE KEERSMAEKER M.-L. (2005). *Protocole de Kyoto : aménagement du territoire, mobilité et urbanisme, chapitre 10 « Favoriser le télétravail »*. Etudes et documents CPDT n°6. Jambes. Ministère de la Région wallonne.
- DECROP J. (2003). *Dynamique géographique de l'emploi en Belgique. Déterminants et impacts des TIC*. Bureau fédéral du Plan.
- EUROSTAT, *Statistiques européennes consultées le 29/07/2010* sur <http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/energy/introduction>
- HERTVELDT B., HOORNAERT B., MAYERES I. (2009). *Perspectives à long terme de l'évolution des transports en Belgique : projection de référence*. Bureau fédéral du Plan.
- INSTITUT DE CONSEIL ET D'ÉTUDES EN DÉVELOPPEMENT DURABLE (ICEDD) (2009). *Recueil de statistiques énergétiques de la Région wallonne 2000-2007*. Téléchargé le 3 mars 2010 sur http://www.icedd.be/atlasenergie/media/pstat2000_2007.pdf.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (2008, 2009, 2010). *World Energy Outlook*. OCDE.
- JOLY I. (2002). *La « loi » de Zahavi, quelle pertinence pour comprendre la contraction et la dilatation des espaces-temps de la ville ?* Laboratoire d'économie des transports, Unité mixte de recherche du CNRS n°5593. Lyon. ENTPE, Université Lumière Lyon 2.
- JUPRELLE J. (2009). *Les infrastructures de transport en Région wallonne*. Brèves de l'IWEPS.
- LEPERS E., NERI P. (2009). *L'occupation du sol en Wallonie : Fiches et cartes communales, 2007-2008*. CPDT. Jambes. Ministère de la Région wallonne.
- RÉSEAU D'INFORMATION COMPTABLE AGRICOLE (RICA). *Statistiques agricoles consultées le 29/07/2010* sur http://ec.europa.eu/agriculture/rica/index_fr.cfm
- SERVICE PUBLIC DE WALLONIE (SPW) (2009). *Evolution de l'économie agricole et horticole de la Région wallonne 2007-2008*.
- SERVICE PUBLIC DE WALLONIE (SPW) (2010). *Tableau de bord de l'environnement wallon*.
- STRATEC (2004). *Elaboration d'un schéma de développement intégré des réseaux et terminaux de fret en Région wallonne*. Rapport final.
- WAUTELET M. (2009). *Le transport et la localisation des entreprises dans l'après-pétrole*. Etopia.
- WIEL M. (2002). *Ville et Automobile*. Paris. Descartes & Cie.

Alternatives au pétrole, entre mythes et réalité

Alternatives to Oil : Between Myth and Reality

M. Wautelet¹

Notre société développée repose sur l'utilisation de pétrole abondant et bon marché. Celui-ci diminue. Afin de mieux appréhender les impacts de la fin du pétrole, on rappelle d'abord la notion de « pic du pétrole » et les incertitudes sur sa date. Ensuite, les alternatives au pétrole dans le secteur des transports (agrocarburants, électricité, hydrogène) sont présentées. Les impacts sur les transports futurs sont discutés.

Our developed society is predicated on the use of cheap, abundant oil. This is diminishing. In order to get a better grasp of the impacts of the end of oil, we first recall the “peak oil” concept and the uncertainties as to its date. Then, alternatives to oil in the transport sector (agrofuels, electricity, and hydrogen) are presented. The impacts on future transport are discussed.

Mots-clé : Pétrole, agrocarburants, électricité, hydrogène, transports, après-pétrole.

Keywords : Oil, agrofuels, electricity, hydrogen, transport, post-oil.

La crise pétrolière de 2007-2008 a révélé au public et aux décideurs ce que nombre de spécialistes dénoncent depuis plusieurs années : notre addiction au pétrole est fragile, et la fin du pétrole (et du gaz naturel) bon marché va entraîner des modifications importantes de notre mode de vie et du fonctionnement de la société occidentale (notamment).

Afin de mieux appréhender les impacts du « pic du pétrole », nous allons d'abord rappeler ce que l'on entend par « pic du pétrole », ainsi que les incertitudes sur sa date effective. Ensuite, nous rappellerons la place du pétrole dans la société. Après quoi, nous présenterons les alternatives au pétrole dans le secteur des transports et ce que cela implique.



Michel Wautelet — PHOTO F. DOR

¹ Université de Mons, Place du Parc, 20, 7000 Mons, Belgique - Michel.wautelet@umons.ac.be

Le pic du pétrole

Notre société développée repose, notamment, sur un pétrole **abondant** et **bon marché**. Or, de nombreux indices montrent que la production de pétrole est proche de son maximum et va bientôt entrer en déclin. Pour comprendre le problème, il convient d'examiner deux concepts majeurs : les réserves et la vitesse d'extraction du pétrole [1].

Les réserves de pétrole

Quand un champ de pétrole est découvert, les géologues estiment ses réserves en donnant une fourchette de trois valeurs :

- le minimum, appelé réserves prouvées (= 1P). Elles correspondent à la quantité de pétrole récupérable avec une probabilité d'au moins 90 % ;
- la valeur espérée, ou réserves prouvées + probables (= 2P), qui correspondent au pétrole que la compagnie espère récupérer et sur base de laquelle est décidée l'exploitation du gisement. Ces réserves ont une probabilité d'au moins 50 % ;
- la valeur maximale, ou réserves prouvées + probables + possibles (= 3P), ayant une probabilité d'au moins 10 %.

De nombreux malentendus concernant les réserves de pétrole proviennent de la présence de ces trois valeurs et du fait que de nombreux spécialistes n'en utilisent qu'une, sans toujours préciser de laquelle il s'agit.

Dans le public, les réserves sont estimées en « années », définies comme suit. Si les réserves actuelles (R) sont consommées au taux de production actuel (P), ces réserves seraient épuisées en $T = R/P$ années. « T » mesure les « réserves ». Aujourd'hui, elles sont estimées à environ quarante années. Si elles permettent de rassurer le public et les décideurs sur la non-urgence de prendre des décisions, ces réserves masquent cependant la réalité de la manière dont les réserves s'épuisent.

Découvertes et production du pétrole

On s'aperçoit que les découvertes ont culminé dans les années 1960, pour décliner depuis. Par contre, la production ne cesse de croître. A partir des années 1980, la production dépasse les découvertes de nouveaux gisements. Aujourd'hui, pour chaque baril (1 baril = 159 litres) découvert, ce sont deux à trois barils qui sont consommés. Le réservoir se vide.

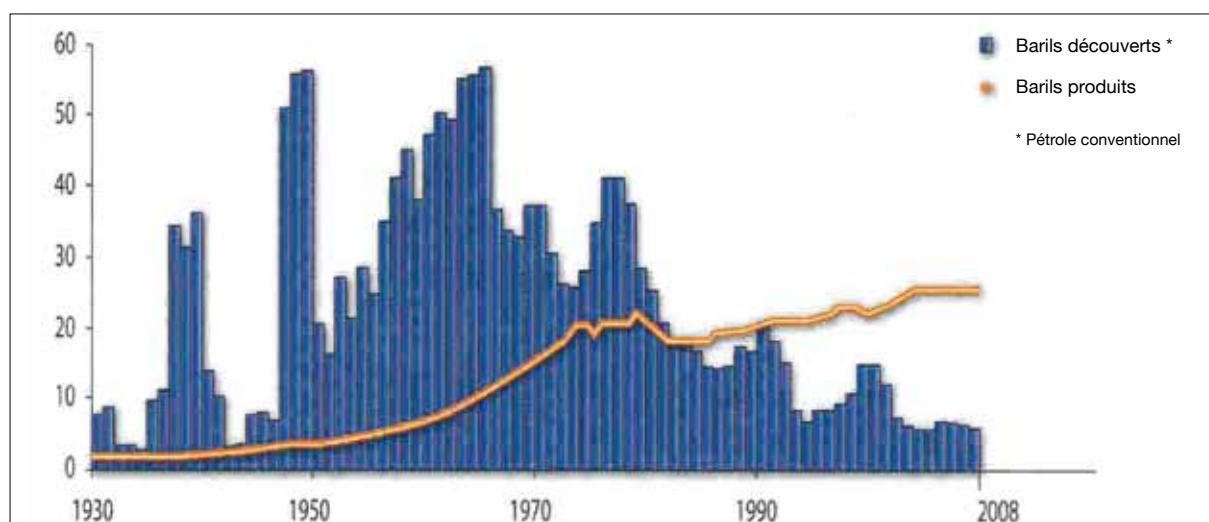


Fig 1. Comparaison des découvertes de pétrole de la production et de la consommation mondiale (en Gb/an) — SOURCE : ASPO

Le « pic du pétrole »

Si les réserves de pétrole sont un paramètre essentiel pour appréhender notre futur énergétique, un autre concerne la vitesse d'extraction du pétrole. Pour des raisons physiques, la production de pétrole d'un nouveau gisement est élevée lors des premiers forages, puis diminue ensuite progressivement (bien que la baisse de pression soit compensée par injection d'eau ou de gaz) jusque zéro sur une période qui peut s'étaler sur plusieurs dizaines d'années.

La production pétrolière d'un gisement ou d'un pays passe donc par un maximum avant de décliner ; ce maximum est appelé « **pic du pétrole** ». Ce schéma est valable aussi pour la planète. Or, du point de vue de l'économie, le moment où il n'y aura plus de pétrole importe peu. Ce qui compte, c'est le moment où il y en aura moins, car, passé le pic du pétrole, un déséquilibre croissant apparaîtra entre une demande qui augmente et une production qui diminue chaque année.

Le pic du pétrole se produit lorsque les réserves extractibles sont environ à moitié vides. Cette notion est extrêmement importante, car elle signifie qu'il restera encore énormément de pétrole lorsque la production mondiale commencera son déclin.

Comme le pic du pétrole est atteint lorsque les réserves sont environ à moitié vides, estimer sa date nécessite de connaître à la fois les réserves qui ont déjà été consommées et celles qui restent à consommer (les pétroles extra-lourds dont on n'a pas parlé, sont abondants, mais ils n'influencent que peu la date du pic ; ils ne font qu'atténuer le déclin). Les différents chiffres des réserves et différentes méthodologies expliquent en partie les grandes divergences concernant la date du pic pétrolier : de 2006 à 2030 [2 UKERC]. Des facteurs géopolitiques (guerres, nationalisations...), économiques, climatiques... influencent la date du pic. Ces facteurs sont difficiles à intégrer dans des prévisions à long terme.

Quoi qu'il en soit, nous allons irrémédiablement vers la fin du pétrole abondant et « bon marché ».

La discussion qui précède concerne la production mondiale de pétrole. Les pays exportateurs de pétrole (OPEP, Russie, et Mexique) consomment à présent

autant de pétrole que l'Europe, et leur consommation s'envole, stimulée par une économie en pleine croissance grâce aux pétrodollars. Comme ces pays sont désormais incapables (ou ne désirent pas) augmenter de manière substantielle leur production, la hausse de leur consommation se fait au détriment de leurs exportations. Cela conduit à un déclin rapide de leurs exportations (7% en moins entre 2006-2010).

Parallèlement au déclin des exportations mondiales, le nombre de pays importateurs augmente, les pays en déclin basculant de la catégorie exportateur vers la catégorie importateur. Il apparaît donc de plus en plus clairement que les grands consommateurs de pétrole, dont l'Europe, verront bientôt leur approvisionnement diminuer. En résumé, il devient clair que la fin du pétrole abondant et bon marché approche et que, d'ici 2050, la quantité de pétrole « économiquement disponible » va décroître de manière très importante.

Examinons maintenant le rôle du pétrole dans notre société occidentale développée.

Le pétrole dans notre société occidentale développée

Comme on s'en aperçoit sur la Figure 2, les utilisations du pétrole sont nombreuses : transports, énergie, pétrochimie, plastiques, engrais, etc. Au niveau mondial, environ 50% du pétrole est utilisé dans les transports. Et les transports reposent à 98% sur le pétrole. C'est dire l'importance actuelle du lien pétrole – transports. Il faut aussi ne pas oublier que le pétrole joue un rôle essentiel dans la construction des routes (bitume) et des ouvrages d'art (béton des ponts et tunnels, etc.).

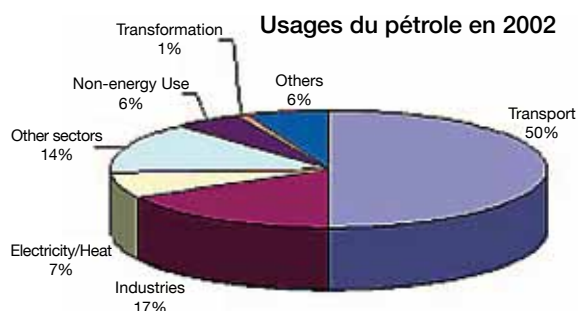


Fig. 2. Les utilisations mondiales du pétrole en 2002.

Les alternatives au pétrole

Remplacer le pétrole est une nécessité pour les quelques décennies qui suivent. Ce ne sera cependant pas facile. Pour se faire une idée, il faudrait plus de 5000 réacteurs nucléaires de 1 GW pour remplacer le pétrole consommé mondialement (et environ la même quantité pour le gaz naturel). C'est dire l'ampleur des défis qui se posent à nous.

Ici, il n'est pas de notre propos de passer en revue toutes les alternatives au pétrole. Le pétrole et les transports étant intimement liés aujourd'hui, nous examinerons les alternatives au pétrole dans le secteur des transports. Les principales alternatives au pétrole dans le domaine des transports sont les agrocarburants, l'électricité et l'hydrogène. Ici, nous ne considérons pas le cas du « charbon liquéfié » qui, s'il est une alternative techniquement réalisable, se révèle être un fort émetteur de CO₂ (donc irréaliste au vu des implications sur les changements climatiques).

Les agrocarburants

Remplacer l'essence de nos voitures par des agrocarburants semble a priori intéressant : peu de changements d'habitudes, moins de gaz à effet de serre (les

gaz émis sont ceux provenant de l'atmosphère via la synthèse chlorophyllienne). Mais les agrocarburants soulèvent plusieurs questions :

- les surfaces cultivées sont importantes. Pour les agrocarburants de première génération (obtenus à partir de produits de l'agriculture (maïs, blé, betteraves, cannes à sucre, soja, colza, céréales etc.) par des techniques conventionnelles, il faudrait utiliser des aires agricoles importantes. Pour remplacer 10% du carburant consommé dans les transports par des agrocarburants, il faudrait consacrer 9% de la surface agricole mondiale. Dans le cas de l'Europe des 15, cela monterait à 72% ;
- les agrocarburants de première génération entrent en compétition avec la nourriture ;
- ils serviraient principalement aux véhicules agricoles et aux transports en commun ;
- en tenant compte de toute la chaîne de production (engrais, culture, transports, eau, transformation, etc.), le rendement énergétique des agrocarburants donne lieu à des estimations variées et contradictoires ;
- les biocarburants de deuxième génération (produits à partir des résidus de forêts et de l'agricul-

ture (bois, paille), des déchets, ainsi que de plantes n'entrant pas en compétition avec la nourriture ne sont encore qu'au stade de la recherche ;

- il en est de même des biocarburants de troisième génération (dont les micro-algues chères au secteur de l'aviation) ;
- même optimisées pour offrir un rendement énergétique par hectare supérieur à celui du colza utilisé pour le biodiesel de première génération, ces plantes n'évacuent pas complètement la question des bilans d'émission de gaz à effet de serre pour lesquels il devient indispensable que les différents acteurs s'accordent sur une méthodologie de calcul acceptable par tous [3].

En résumé, les agrocarburants ne représentent pas une solution à court et moyen terme pour le secteur des transports. Tout au plus représenteront-ils un appoint au pétrole actuel (10% au niveau mondial).

Les véhicules électriques

Les véhicules électriques sont présentés comme devant d'abord aider à résoudre les nuisances et la pollution engendrées par nos véhicules, surtout en ville. Mais ce n'est pas la seule motivation.

Les principaux avantages sont environnementaux. Les véhicules électriques ne polluent pas l'air des villes (la pollution est au niveau de la production d'électricité) et ne sont pas bruyants. Ces véhicules soulèvent cependant des questions diverses :

- l'autonomie et la vitesse des voitures électriques sont limitées, au vu des capacités des batteries actuelles ;
- les temps de charge seront importants (plusieurs heures) ;
- les voitures électriques seront probablement des voitures de ville (ou pour courtes distances) ; ce qui peut se révéler important, vu les habitudes des consommateurs qui, en majorité, effectuent des trajets courts ;
- la quantité d'énergie pour les voitures électriques nécessitera soit de nombreuses centrales supplémentaires (environ l'équivalent de deux réacteurs nucléaires pour la Belgique en remplacement du parc automobile actuel) soit le développement de compteurs intelligents ;
- le développement des véhicules électriques ne se

conçoit pas sans la mise sur pied d'une infrastructure de prises dans les parkings privés, des entreprises, des villes, etc. ;

- vu le poids des batteries, ainsi que l'autonomie, il n'est aucunement question de voir des camions (notamment les transports internationaux) électriques ;
- il semble que, aujourd'hui, la durée de vie des batteries soit insuffisante pour un usage intensif requis dans les transports ;

Le coût des matières premières nécessaires à la fabrication des batteries est un paramètre non connu aujourd'hui.

Les véhicules à hydrogène

Une autre catégorie concerne les véhicules à hydrogène, alimentés par des piles à combustible (PAC). La voiture hydrogène est constituée d'un moteur électrique, d'une PAC et d'un réservoir d'hydrogène.

Si l'hydrogène est considéré par certains comme le vecteur énergétique propre de l'avenir, les défis à relever sont énormes :

- aujourd'hui, le matériau central de la PAC est le catalyseur, en platine (un matériau cher). Une PAC pour une petite voiture coûte environ 20 000 Euros. Des recherches ont lieu pour tenter de remplacer ce Pt par des matériaux moins onéreux ;
- aujourd'hui, la production d'hydrogène est assurée par ses principaux utilisateurs : raffineries pétrolières et usines d'engrais. Elle s'appuie sur divers procédés de décomposition d'hydrocarbures qui, en outre, sont émetteurs de CO₂ et autres GES. Il est donc impératif de passer à d'autres méthodes de synthèse de l'hydrogène ;
- la méthode alternative est l'électrolyse de l'eau. Mais, pour remplacer le parc automobile actuel par des véhicules à l'hydrogène, il faudrait construire l'équivalent de trois réacteurs nucléaires pour la Belgique ;
- une alternative financée par la Communauté européenne (projet HydroSOL) est de produire l'hydrogène à partir du rayonnement solaire, dans des centrales thermiques à très haute température ;
- le stockage de l'hydrogène dans les réservoirs des véhicules est un autre défi à relever. Une solution serait la liquéfaction de l'hydrogène (à - 253°C), d'où des réservoirs cryogéniques, et une baisse



de rendement par la liquéfaction (d'où un nombre plus important de centrales électriques). Dans ces conditions, il faudrait un réservoir de plus de 28 litres pour une autonomie de 100 kilomètres ;

- le stockage sous pression ou sur matériaux solides est aussi à l'étude dans les laboratoires ;
- la distribution de l'hydrogène est un autre problème non résolu.

L'hydrogène pourrait commencer à remplacer les hydrocarbures dans le transport et d'autres applications, à partir de 2020. A cette date, l'Europe espère couvrir 5% de ses besoins en énergie pour les transports par l'hydrogène.

Aujourd'hui, les problèmes à résoudre sont tellement importants que nul ne peut assurer que l'on y arrivera un jour.

Conclusions sur les alternatives au pétrole

Au vu de la discussion précédente, il apparaît que : à court et moyen terme (avant 2025), il n'y a aucune alternative crédible au pétrole dans le domaine des

transports de marchandises. Les agrocarburants sont insuffisants et en concurrence avec la nourriture. Les véhicules électriques sont trop peu performants et trop gourmands en électricité. L'hydrogène va demander des efforts de recherche et développement, ainsi que des efforts financiers et de construction importants, qui demanderont plusieurs décennies.

Il reste à espérer qu'une nouvelle crise pétrolière, avec hausse significative des prix et/ou diminution drastique de l'approvisionnement, n'aura pas lieu avant 2025.



Impacts sur les transports

Etant donné ce qui a été dit précédemment, il est évident que le « pic du pétrole » ne manquera pas d'avoir des conséquences sur les transports, à moyen et long terme. En particulier, si on peut imaginer des voitures particulières ou des camions légers électriques, **il n'y a aujourd'hui aucune alternative au pétrole dans le domaine des camions, notamment internationaux, à moyen terme (2025-2030)**. Le futur de ces transports va donc dépendre du contexte pétrolier géostratégique.

Il en est de même de l'aviation commerciale, pour laquelle ni les agrocarburants, ni l'hydrogène, ni surtout l'électricité, ne sont des alternatives crédibles, même à très long terme.

A long terme (2050), si les choses apparaissent moins claires, les alternatives ne sont pas beaucoup plus rassurantes. Même si certains, comme le Bureau belge du Plan, dans un rapport de début 2008 [4], parient sur le développement de l'hydrogène dans le transport de fret, par route. Selon ce rapport, en 2050, pour le

transport de fret, 90% des véhicules en Belgique circuleront avec des PAC ; 10% seront alimentés par des agrocarburants. L'hydrogène sera fourni par les éoliennes de la Mer du Nord, ce qui évitera les problèmes liés à leur liaison au réseau électrique. Il s'agit là, à mes yeux, d'un pari risqué.

Rien n'est en vue pour l'aviation.

Il semble donc que l'on s'oriente vers des transports différents selon la distance parcourue [5].

Nous ne considérons ici que le court et moyen terme, avant la généralisation (hypothétique) de l'hydrogène.

Transports intercontinentaux

Pour ceux-là, on s'oriente vers la fin du transport de fret par avion. Restera le transport maritime. Les secteurs concernés sont principalement ceux qui, aujourd'hui, réclament des transports rapides (fruits et

légumes, denrées comestibles et périssables, petits volumes). Le transport de courrier et petits paquets semble aussi condamné à moyen terme (au plus tard). Par contre, les transports plus volumineux, lents, qui sont faits par bateaux continueront (minerais, céréales, voitures, informatique, etc.).

Transports intracontinentaux

La fin du transport routier international (alimenté par le pétrole) et de l'aviation marque aussi le redéploiement du rail et du transport fluvial. Cela concerne la diminution des transports de denrées périssables (qui circulent entre pays par la route), mais aussi l'approvisionnement des usines et commerces en « flux tendu » international.

Le rail (et surtout le transport fluvial) étant plus lents que la route, ils concerneront des matériaux denses ou via containers.

Bien entendu, il ne s'agit pas non plus de livraisons à sa porte. Pour cela, il faudrait un réseau ferré aussi dense que le réseau routier ! Même s'il est exclu, pour diverses raisons, d'arriver à un tel réseau, des infrastructures coûteuses et lourdes devront être construites. Si on désire développer le transport par rail, on ne pourra pas se satisfaire du réseau ferré actuel. Il faudra construire de nouvelles lignes, en élargir d'autres, acquérir de nouveaux trains et wagons, etc... Les réseaux locaux, régionaux, nationaux et internationaux devront être reconnectés et, si possible, standardisés. L'actuelle disparité entre, notamment, les systèmes d'alimentations électriques des trains de nos pays européens disparaîtra peut-être. A part les chemins de fer aux-mêmes, ce sera toute l'infrastructure d'approvisionnement, de relais avec la route, qu'il faudra repenser, ensemble. Les industries auront sans doute intérêt à se connecter à une voie ferrée, à se regrouper près de noeuds ferroviaires.

Notons aussi que le redéploiement du rail aura des répercussions positives sur l'emploi, notamment de personnel non qualifié. Il en faudra pour construire et entretenir le réseau ferré.

Quant au transport fluvial, il se verrait utilisé pour les marchandises lourdes, encombrantes, avec des délais plus longs que le rail. Le transport fluvial va évidem-

ment requérir le creusement de canaux plus nombreux et plus profonds, des écluses adéquates... Il faudra aussi les entretenir mieux qu'ils ne le sont souvent aujourd'hui. Cela ne se fera pas en un jour, ni gratuitement. La transition vers ce nouveau mode de fonctionnement de l'économie demandera un financement adéquat, au moins aussi important que celui qui a conduit de la situation de 1835 à celle de 1960 ; et ce, dans un délai plus court. Car de grands travaux seront nécessaires pour y arriver. Et il faudra trouver des moyens originaux de financements, d'investissements.

Transports régionaux

Pour les moyennes distances (de quelques dizaines à une centaine de kilomètres), le recours au rail (pour les transports lourds), voire aux camions électriques (pour les marchandises légères) sont concevables. Comme pour le transport international par rail, il faudra construire de nouvelles lignes de chemin de fer, en élargir d'autres, réaffecter les petites lignes construites au début du vingtième siècle et désaffectées depuis, acquérir de nouveaux trains et wagons, etc... Les réseaux locaux, régionaux, nationaux et internationaux devront être reconnectés. Ce qui demandera du temps, de l'argent et de la main d'œuvre.

Transports locaux

C'est vraisemblablement au niveau local que les changements seront les moins dramatiques. Car c'est là que les livreurs à domicile, les camions pour courtes distances, entre producteur et consommateur local ou gare de distributions auront lieu. Les consommateurs ayant probablement moins recours à la voiture individuelle, le retour aux petits commerces sera peut-être possible, voire nécessaire. Pour le transport local, le recours à de petits véhicules électriques, voire aux agrocarburants, sera nécessaire. Avec, peut-être, un retour partiel au transport animal.

Questions non résolues (parmi beaucoup d'autres)

Quelques questions parmi d'autres :

- quelle part du volume du transport routier pourra-t-elle être dévolue aux autres moyens ?
- quels seront les secteurs économiques les plus directement touchés ?

Actuellement, le volume de marchandises transportées par camions est extrêmement important. Déterminer la partie transportable autrement n'est pas chose aisée. Cela dépend de nombreux facteurs :

- localisation géographique du fournisseur et du client (infrastructure locale, proximité d'installations intermodales, etc.) ;
- vitesse requise du transport ;
- habitudes des consommateurs (et des entreprises) ;
- nature de la marchandise ;
- volume des marchandises ;

- proximité d'une marchandise (fruits et légumes, carrière, etc.) ;
- etc.

Le secteur des transports de marchandises sera donc vraisemblablement un des secteurs les plus touchés par l'épuisement des ressources pétrolières. Avec toutes les conséquences que cela implique sur les nombreuses activités qui en découlent, depuis la mobilité jusqu'au commerce et aux industries.

Conclusions

La fin prévue du pétrole aura des conséquences importantes sur le fonctionnement de notre société développée. Dans cette communication, nous avons montré des conséquences prévisibles sur le secteur des transports. Les transports des personnes et des

marchandises seront drastiquement modifiés. En particulier, les transports routiers internationaux et par avion sont appelés à diminuer très fortement. Ceci « reste » à intégrer dans toute politique de mobilité, de commerce et industrielle.

Références

1. Pour des informations plus détaillées, voir :
 - a) BROCORENS P., WAUTELET M., *Pétrole : à quand le déclin ?* Athena, 238, 283—286 (2008) ;
 - b) www.aspo.be
2. UKERC, www.ukerc.ac.uk
3. REBUFAT F., *S'extraire du pétrole*, Research.eu, p. 22 (avril 2008)
4. *Accélérer la transition vers un développement durable*. Rapport fédéral sur le développement durable 2007. task force développement durable (Décembre 2007).
5. WAUTELET M., *Vivement 2050 ! Comment nous vivrons (peut-être) demain*, L'Harmattan, Paris (2007).

Structuration du territoire pour répondre aux objectifs de réduction des émissions des gaz à effets de serre

Structuring the Territory to Meet Lower Greenhouse Gas Emission Objectives

S. Dujardin, F.-L. Labeeuw, E. Melin, F. Pirart, J. Teller¹

Nous présentons ici une recherche relative à l'impact de la structuration du territoire sur les émissions de gaz à effets de serre (GES). Trois champs de variables ont été prospectés à cette fin : les variables territoriales bien sûr, mais également socio-économiques et technologiques. Celles-ci ont permis l'élaboration d'un cadastre énergétique des émissions dans deux domaines principaux de l'aménagement du territoire: la mobilité et le bâti. Il ressort de ces analyses que des gains d'émissions de GES appréciables sont envisageables à court et à long terme, notamment dans le domaine du bâti. Cependant, ils ne peuvent être interprétés sans une réflexion de nature territoriale. La Wallonie est de fait caractérisée par une forte périurbanisation combinée à un très faible recyclage du parc bâti. Ces caractéristiques structurelles du territoire imposent aujourd'hui de formuler des réponses adaptées à différents types d'urbanisation (urbain, rural, périurbain)

We present here some research into the impact of territorial structuring in relation to greenhouse gas (GHG) emissions. To this end, three fields of variables have been looked into : the territorial variables of course, but also the socio-economic and technological ones. These have enabled an energy emissions register to be formulated in the two main town-and country-planning fields: mobility and housing. These analyses show that appreciably lower GHG emissions are possible in both the short and the long term, especially in the housing field. However, they cannot be interpreted without reflection of a territorial nature. Wallonia is in fact characterised by a strong element of periurbanisation combined with weak recycling of the housing stock. These structural characteristics of the territory are today necessitating responses adapted to the various town-planning modes (urban, rural, and periurban).

Mots-clé : Aménagement du territoire, énergie, mobilité, résidentiel

Keywords : Town and country planning, energy, mobility, residential

¹ Lepur Université de Liège 1, Chemin des Chevreuils, B52, 4000 Liège 1, Belgique - Jacques.Teller@ulg.ac.be



Jacques Teller — PHOTO F. DOR

En vertu du protocole de Kyoto et de l'accord communautaire de « partage de la charge », la Belgique est tenue de réduire ses émissions de gaz à effet de serre de 7,5% par rapport à 1990, année de référence (Commission Nationale Climat, 2008). En 2006, les émissions de gaz à effet de serre en Belgique (sans l'UTMATF² : utilisation des terres, modification de l'affectation des terres et foresterie) s'élevaient au total à 137,0 millions de tonnes d'équivalents CO₂ (Mt éq. CO₂), soit 6 % de moins que l'année de référence.

La protection du climat est toutefois de compétence régionale en Belgique. La Commission Nationale Climat assure la concertation et la coopération interne pour l'objectif de réduction de 7,5 % par rapport aux émissions de 1990 pour la période 2008-2012 suivant le protocole de Kyoto. En vertu de l'accord de coopération entre Régions de mars 2004, les réductions attendues au cours de la période 2008-2012 sont de 7,5 % pour la Région wallonne et respectivement, de 5,2 % pour la Région flamande et de - 3,475 % pour la Région bruxelloise.

Les émissions de GES en Wallonie sont loin d'être favorables à la lutte contre le réchauffement climatique. Elles étaient, en 2007, de 13,3 tonnes éq CO₂/an par habitant

en Wallonie (SPW, 2010). A titre de comparaison, ces valeurs s'élevaient en 2008, chez nos voisins, à 11,7 tonnes éq CO₂/an en Allemagne contre 8,5 en France et 12,6 aux Pays-Bas, pour une moyenne de 10,1 tonnes éq CO₂/an par habitant à l'échelle de l'Union Européenne (CAIT, 2010). Les valeurs élevées observées en Région wallonne s'expliquent sans doute par une série de facteurs de nature économique, dont la présence d'activités industrielles fortement émettrices. Il apparaît cependant que l'on ne peut négliger les facteurs liés à la structure même du territoire régional, comme la présence d'un habitat dispersé et ancien ainsi qu'une croissance importante des émissions liées au secteur du transport routier (+ 31% entre 1990 et 2006), un phénomène pour partie lié à l'influence de pôles d'emploi localisés en dehors du territoire régional (CPDT, 2005).

La première prise en compte des enjeux climatiques intervient, en Wallonie, lors de l'adoption du Plan pour la maîtrise durable de l'énergie (PMDE). Ce plan adopté en 2003 fixait un certain nombre d'objectifs à l'horizon 2010. En 2009, un projet de révision du PMDE est établi avec l'élaboration de différents scénarios pour les horizons 2010, 2015 et 2020. Enfin, le Plan Air Climat, adopté en 2007, identifie 99 objectifs (ou mesures) à l'horizon 2020, dont les accords de branche avec l'industrie. Une série de mesures intégrées au Plan Air Climat concernent les acteurs du transport, des infrastructures et de l'aménagement du territoire. Remarquons toutefois que les actions spécifiques à l'aménagement du territoire proprement dit y étaient quasiment inexistantes, hormis une action portant sur la valorisation du patrimoine foncier ferroviaire par la prise en compte optimale des aspects énergétiques dans l'urbanisation des quartiers de gare.

La Région Wallonne a dès lors confié à la Conférence Permanente du Développement Territorial (CPDT) la mission d'analyser l'impact de la structuration du territoire sur les émissions de GES. Cette recherche, entamée en novembre 2009 et programmée sur deux ans, s'est rapidement centrée sur des questions de localisation des activités et des ménages ainsi que sur l'analyse des performances du parc de bâtiments résidentiels. Nous rejoignons ici la thèse de Susan Owens (1986) qui avançait, dès les années 1980, que

2 LULUCF : Land use, land use change and forestry

les facteurs de structuration territoriale, s'ils sont peu susceptibles à eux seuls de produire des effets significatifs à court terme en matière de consommation énergétique, sont caractérisés par un faible degré de réversibilité et influencent de manière décisive les réponses techniques qui pourraient être avancées pour faire face à ces enjeux.

La méthodologie de la recherche est détaillée dans la section suivante et les résultats, à mi-parcours du projet, seront présentés et discutés dans les sections 3

à 5. Il ressort de cette première année de recherche que des gains d'émissions de GES appréciables sont envisageables dans le domaine des émissions liées à la mobilité et des consommations des bâtiments résidentiels, mais que ces dernières ne pourront être interprétées sans une réflexion de nature territoriale. La Wallonie est caractérisée de fait par une forte périurbanisation combinée à un très faible recyclage du parc bâti. Ces caractéristiques, structurelles, du territoire imposent aujourd'hui de formuler des réponses adaptées à différents milieux (urbain, rural, périurbain).

Méthodologie

La revue de la littérature scientifique a permis de mettre en évidence quatre grands types de variables qui interviennent dans la détermination des comportements de mobilité et d'habiter (figure 1) :

1. les formes d'organisation territoriale ;
2. les caractéristiques socioéconomiques ;
3. les facteurs technologiques ;
4. les comportements.

Ces variables interagissent entre elles et, ensemble, influencent les émissions de gaz à effet de serre. C'est sur ces interactions, au sein du territoire wallon, que se sont concentrées nos investigations au cours de cette première année de recherche. Notons que les variables technologiques et socio-économiques sont des facteurs jugés comme « externes », car des mesures d'aménagement du territoire ne peuvent les influencer de manière directe. Cependant, elles sont souvent identifiées comme des variables explicatives fortes et, par conséquent, doivent être prises en compte dans notre modèle d'analyse.

Nous nous intéressons en particulier aux relations entre structure territoriale et comportements de mobilité, et entre cette même structure et consommations énergétiques liées au bâti résidentiel. Les émissions du secteur industriel ne sont pas ici prises en compte étant donné que notre étude se focalise sur les secteurs sur lesquels l'aménagement du territoire a une

emprise directe. Par ailleurs, notre souhait était de respecter une cohérence entre les choix de modélisation opérés dans les différents domaines et de partir d'une approche ascendante du problème, de manière à permettre de tester des scénarii à une échelle assez fine lors de la deuxième année de recherche.

Aussi, pour les consommations bâtiments résidentiels, nous nous sommes basés sur une modélisation de l'enveloppe pour l'ensemble des bâtiments en Région wallonne, soit quelque 1 000 000 bâtiments sur les 1 300 000 bâtiments recensés en Wallonie. Cette modélisation a été élaborée à partir de données cadastrales et de photogrammétrie aérienne (Plan Informatique de Cartographie Continue). La base de données que nous avons constituée reprend ainsi, pour chaque bâtiment, sa localisation (secteur statistique), sa date de construction, son emprise au sol, sa hauteur ainsi que son pourcentage de mitoyenneté. Les caractéristiques techniques de l'enveloppe sont inférées sur base de l'âge du logement, en nous basant sur trois sources principales : le volet logement de l'enquête socio-économique 2001 et l'enquête qualité du logement réalisée par la Région Wallonne en 2006 complétée par des savoirs d'experts. Cette approche est semblable à celle adoptée par Maïzia (2008) et Marique (2010) dans le cadre de leur analyse des performances énergétiques du parc bâti résidentiel. L'estimation des besoins de chauffage est basée sur la méthode du BE500 (Uyttenbroeck, 1984). Cette mé-

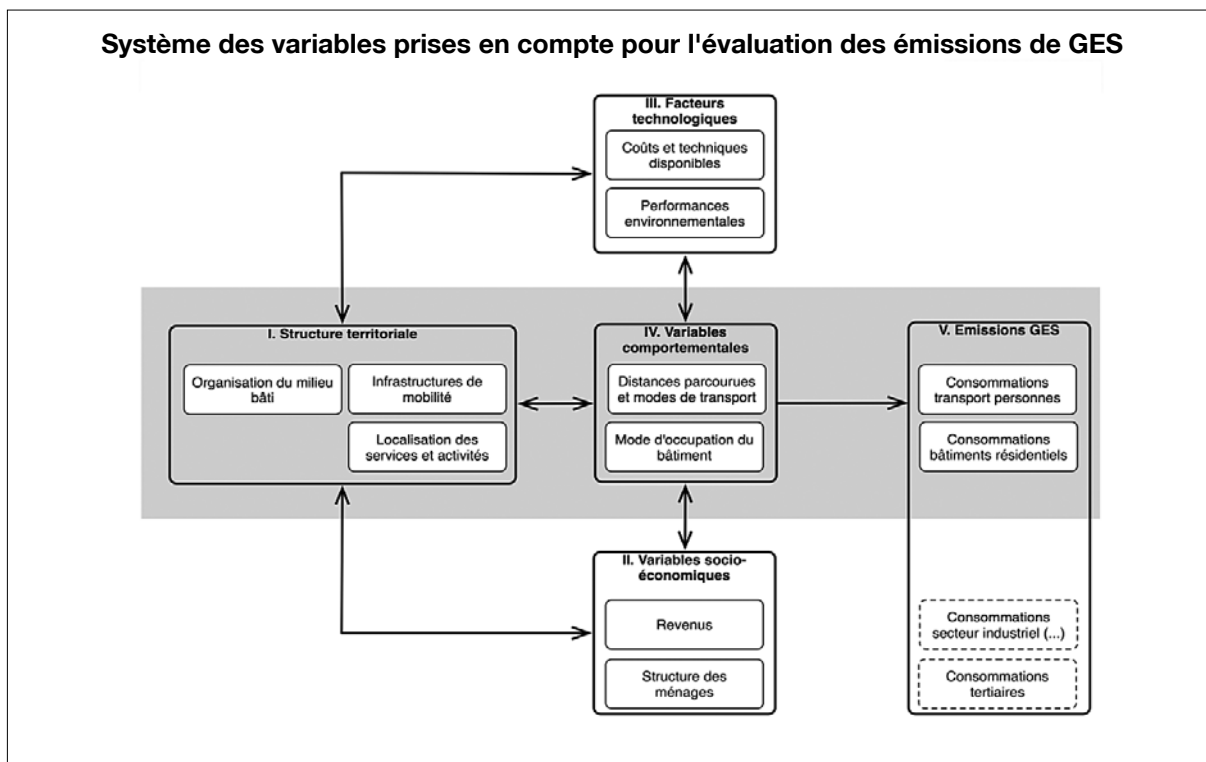


Fig 1. Modèle général de la démarche adoptée au cours de la recherche. La partie grisée correspond à l'axe central de la recherche ; les variables socio-économiques et les facteurs technologiques n'étant pas considérés ici comme des variables territoriales.

thode de calcul nous permet de prendre en compte les variables climatiques et les apports internes et solaires.

Pour les consommations liées à la mobilité, nous nous sommes basés sur les données de l'enquête socio-économique 2001, relatives aux déplacements domicile-travail. Ces données ont été collectées au niveau de l'individu dans le cadre de cette enquête. Elles nous fournissent, pour les déplacements domicile-travail, le lieu de départ et d'arrivée, la distance parcourue et la combinaison des modes de transports utilisés. Nous avons calculé sur cette base l'indice de performance énergétique des mobilités domicile-travail à l'échelle des secteurs statistiques, un indice déjà appliqué par Boussauw et Witlox (2009) au territoire de la Flandre. Il est basé sur les distances parcourues, le mode de transport principal et les émissions spécifiques des différents modes de transport.

Les variables technologiques sont, à ce stade, mobilisées pour déterminer les émissions de CO₂ liées à un type de consommation énergétique particulier. Pour les déplacements domicile-travail, nous avons dû estimer les consommations énergétiques et les émissions de CO₂ moyennes globales par kilomètre parcouru et par passager en fonction des différents modes de transport. D'autre part, nous avons ramené les émissions par individu et par kilomètre parcouru sur base des données de mobilité du SPF Mobilité (2008) et de l'IWEPS (2007). Cette manière de procéder est, on le sait, plutôt défavorable aux centres urbains denses, en particulier pour ce qui concerne les émissions spécifiques liées aux transports en bus étant donné que le taux de remplissage y est plus important. Ceci est susceptible de faire baisser significativement les émissions par kilomètre parcouru et par passager.

Pour les besoins énergétiques du bâtiment, nous nous sommes référés aux données de l'ADEME (2007) pour déterminer les émissions de GES de différents vecteurs de chauffage (gasoil de chauffage, gaz naturel, GPL et électricité), en tenant compte de facteurs de conversion et de leurs incertitudes.

L'ensemble des données relatives aux performances technologiques sont appliquées aux consommations actuelles et passées. Différents scénarios tendanciels, tels que des gains potentiels liés à l'installation de réseaux de chaleur ou l'amélioration des performances environnementales des véhicules ou des systèmes de

chauffage, devront être examinés au cours de l'année prochaine.

Enfin, les variables socio-économiques concernent principalement les revenus et la structure des ménages. Une part importante de la variation des comportements de mobilité peut être expliquée par ces facteurs (Pouyane, 2004). Ainsi, Stead (2001) souligne que les déterminants socioéconomiques des comportements de mobilité sont plus importants que ceux de l'occupation du sol, comptant pour 21 % à 58 % de la variation des distances parcourues.

Emissions de CO₂ et consommations énergétiques liées aux déplacements domicile-travail

Analyse de la situation actuelle

A l'échelle régionale (figure 2), on observe de bonnes performances dans les communes les plus peuplées de Wallonie. C'est essentiellement dans l'ancien sillon industriel que les déplacements domicile-travail sont les moins émetteurs de GES.

Parmi les vingt communes les plus performantes, sept appartiennent à l'agglomération liégeoise. De faibles émissions par actif s'observent également dans les pôles secondaires du sud du sillon et au sud-ouest de la périphérie bruxelloise.

Les communes qui accusent les moins bonnes performances énergétiques sont en général situées dans les espaces « périphériques » ou « ruraux », souvent moins peuplés, de la Wallonie. Parmi les vingt communes où les déplacements domicile-travail génèrent le plus d'émissions par travailleur, un premier regroupement de douze communes fortement émettrices de GES s'observe en périphérie sud-est de Bruxelles à la limite entre le Brabant wallon, la province de Liège et celle de Namur. Dans ces communes, un très grand nombre d'habitants font de longues distances en voiture pour aller travailler. Dans la province du Luxem-

bourg, un ensemble de communes situées dans l'orbite de Luxembourg-Ville se démarquent clairement en termes d'émissions. Elles se situent généralement à une distance importante de la capitale Grand-Ducale ainsi que des petits pôles urbains du sud de l'Ardenne et de la Lorraine.

Une telle répartition spatiale des performances laisse présager l'importance de l'occupation du sol (y compris la densité de population et d'emploi) dans l'explication des déplacements des actifs. L'éloignement relatif du lieu de résidence par rapport aux pôles d'emplois majeurs tels que Bruxelles, Liège, Namur, Charleroi et Luxembourg crée des « effets auréolaires » bien marqués à l'échelle régionale. Plus on s'écarte des grandes villes, plus les émissions de GES par navetteur ont tendance à augmenter. L'analyse à l'échelle des secteurs statistiques montre que, dans une moindre mesure, cet effet se produit également à l'échelle locale. Si dans certains cas, cet effet de réduction locale de l'indice à proximité immédiate d'un petit pôle urbain est limité (surtout dans le Brabant Wallon et à proximité des grandes villes wallonnes), en Ardenne, ce gradient est beaucoup plus marqué.

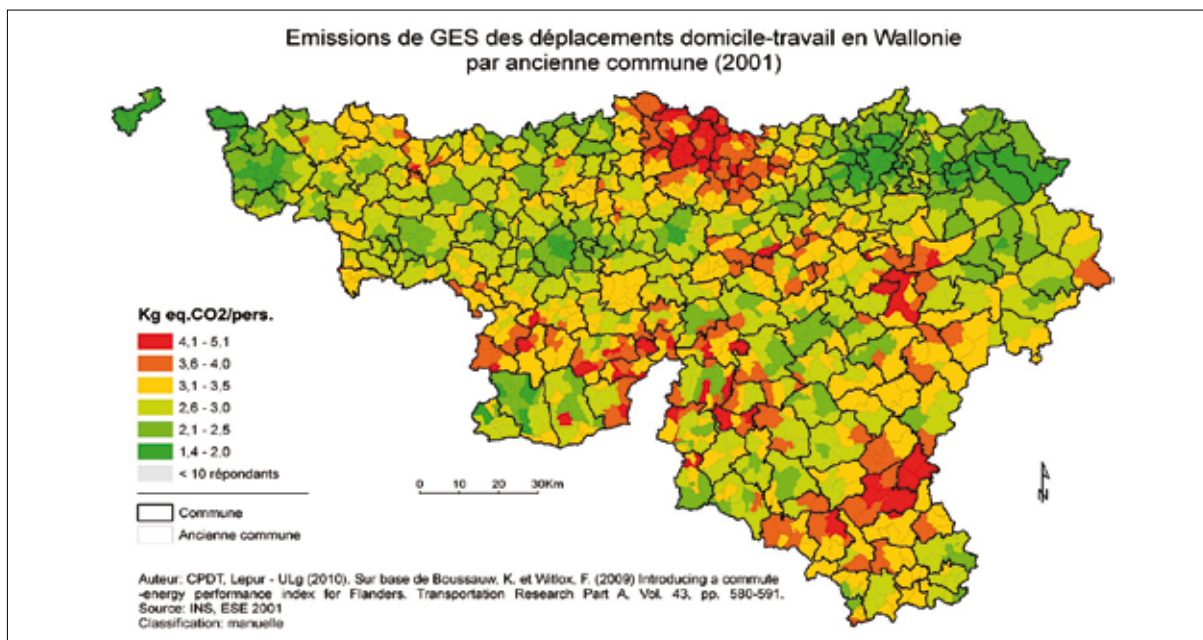


Fig 2. Emissions de GES moyennes des déplacements domicile-travail en Wallonie par ancienne commune (2001). Nous avons choisi dans le cadre de cet article de présenter l'ensemble des résultats cartographiques à l'échelle des anciennes communes.

Cependant, à l'influence de la densité de population et d'emploi s'ajoute l'influence de la proximité à l'offre ferroviaire et à la fréquence qui l'accompagne.

Un « effet frontière », ou plus exactement un effet « frontière linguistique » est également à envisager dans l'interprétation du cadastre énergétique des déplacements domicile-travail. Le fait d'aller chercher un travail de l'autre côté de la frontière peut s'avérer parfois difficile pour des raisons administratives ou linguistiques, ce qui induit une certaine réticence aux longs déplacements. Les travailleurs ont donc tendance à trouver du travail localement, et donc parcourent de moins longues distances.

Par ailleurs, l'interprétation des performances des déplacements domicile-travail passe également par la prise en compte de variables socio-économiques. Dans le cas de la Corbeille de Namur par exemple, les navetteurs du quartier nord-est des « Casernes » émettent 2,3 kgeq.CO₂/pers. alors que les navetteurs des autres quartiers émettent 25% de GES en

moins en moyenne (1,7 kgeq.CO₂/pers.). Cependant, la part modale de la voiture et les distances parcourues élevées de ces actifs ne peut s'expliquer par une différence en termes d'infrastructure de mobilité et de densité de population et d'emploi qui sont relativement similaires dans l'hyper-centre namurois. Les revenus et le nombre de voitures par ménages sont visiblement également à prendre en compte dans ce cas.

Evolution 1991 – 2001

Le calcul de l'indice pour la Wallonie en 1991 et 2001 montre que la tendance globale est à la hausse. L'indice est passé d'une moyenne de 2,1 à 2,5 kg de CO₂ équivalent par personne et par déplacement. En comparaison avec 1991, les navetteurs ont donc émis en moyenne 0,426 kg eq. CO₂/pers supplémentaires en 2001, soit une augmentation de 20,6% sur 10 ans.

A l'échelle des communes, l'indice de performance évolue également de manière positive sur la quasi-totalité du territoire. Sur les vingt communes ayant connu

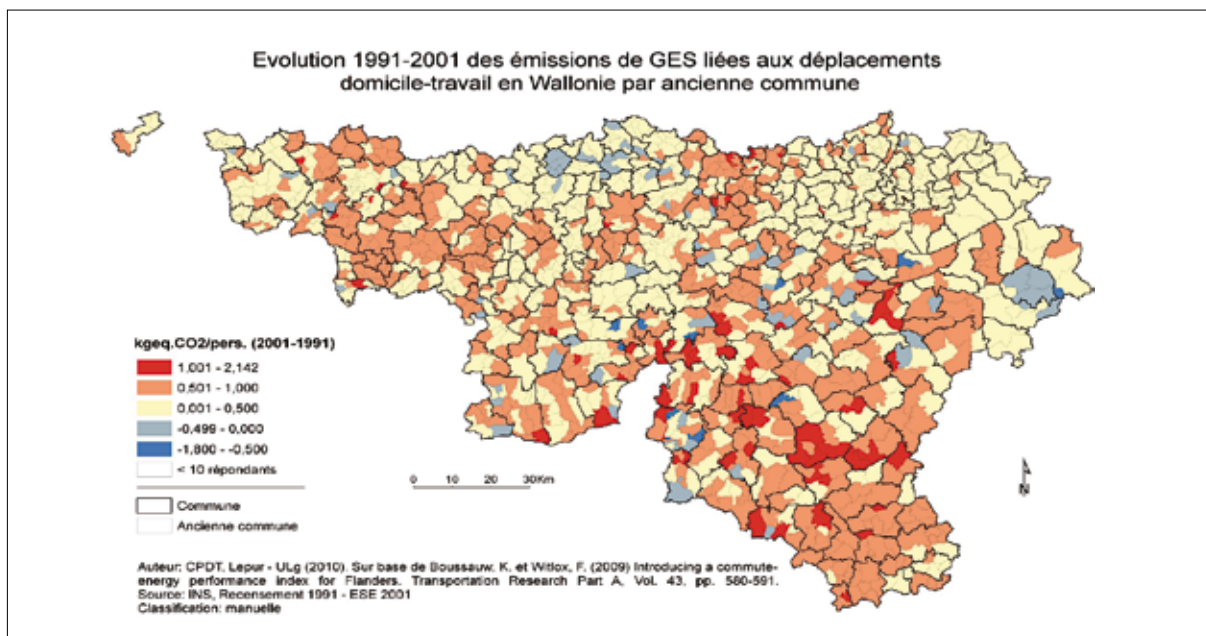


Fig 2. Evolution 1991-2001 des émissions de GES liées aux déplacements domicile-travail en Wallonie par ancienne commune

les plus fortes augmentations, dix-huit sont situées en Province de Luxembourg. Il s'agit systématiquement de communes ayant connu une forte croissance des travailleurs transfrontaliers se rendant au Grand-Duché durant la période de 1991 et 2001. De plus, les huit communes ayant connu les croissances les plus fortes (pouvant aller jusqu'à 920 g eq. CO₂/pers.) sont toutes situées entre 40 et 70 kilomètres de Luxembourg-Ville.

On observe également des diminutions qui laissent transparaître des changements dans les comportements de mobilité des navetteurs entre 1991 à 2001. Sur les vingt communes ayant connu la croissance la plus faible, quatorze sont situées dans le Brabant wallon. Les six autres sont situées dans la Province de Liège, dont trois dans la Communauté germanophone.

Une comparaison des résultats obtenus pour 1991 et 2001 par ancienne commune met en évidence une augmentation et une diffusion spatiale généralisée sur l'ensemble du territoire wallon des valeurs élevées d'émissions de GES liées aux déplacements domicile-travail. Entre 1991 et 2001, les zones émettrices de moins de 2,0 kg d'équivalent CO₂ par personne et

par trajet se sont fortement réduites. A l'opposé, les zones émettant plus de 4,0 kg de CO₂ équivalent se sont multipliées et étendues en 2001. Par rapport à 1991, les émissions ont augmenté dans la majorité des anciennes communes en 2001 (figure 3). Les zones qui accusent des augmentations importantes sont principalement concentrées dans la province du Hainaut, de Namur et du Luxembourg avec généralement des augmentations des émissions allant de 0,5 kg eq. CO₂/pers. à 1,0 kg eq. CO₂/pers. supplémentaires. Dans le sud de la Wallonie, les émissions de GES augmentent jusqu'à 2,2 kg eq. CO₂ supplémentaires par navetteur et par trajet. A l'opposé, les zones où s'observent les augmentations les plus faibles (de 0 à 0,5 kg eq.CO₂/pers.) se concentrent dans la province de Liège et le Brabant wallon.

Une telle évolution des émissions est attribuable principalement à l'augmentation des distances parcourues, elles-mêmes dictées par deux phénomènes étroitement liés que sont la périurbanisation et la métropolisation. Dans le cas de la province du Luxembourg, le pouvoir d'attraction du Grand-Duché du Luxembourg et les prix plus élevés des terrains dans

ce pays ont pour conséquence qu'un nombre sans cesse croissant de communes éloignées de la frontière accueillent la résidence d'un nombre important de personnes travaillant au Luxembourg (Vanneste, 2007). En effet, elles possèdent en général de bien plus grandes disponibilités foncières en zone d'habitat et les niveaux de prix des terrains y sont plus bas. Ceci explique leurs fortes croissances démographiques, l'augmentation des distances parcourues par les actifs étant donné que peu d'emploi local existe et, par conséquent, la forte augmentation des émissions de GES dans cette partie de la Wallonie. Le même phénomène s'observe également autour de Bruxelles et dans les communes de l'ouest de la province de Liège. Une telle déconcentration de l'habitat couplée à une concentration de l'emploi à l'échelle inter-urbaine a tendance à augmenter les distances parcourues pour les déplacements domicile-travail ainsi que les émissions de GES.

Cependant, lorsque la déconcentration de l'habitat est couplée à une concentration de l'emploi, les distances parcourues augmentent plus faiblement, et peuvent même décroître. C'est le cas notamment dans la province du Brabant wallon. Les communes de cette province très proche de Bruxelles ont en effet connu durant la période 1991-2001 une diminution des flux sortants (c'est-à-dire en réalité des flux vers Bruxelles et vers sa périphérie flamande). Cette tendance s'observe sur un espace centré sur Wavre et Ottignies-Louvain-la-Neuve, où l'on assiste à un développement économique important. Pour autant que cela s'opère à proximité immédiate de (petits) pôles urbains ou de gros bourgs ruraux qui comptent un grand volume de travailleurs effectuant de longs trajets de déplacements, le développement de l'emploi bénéficiant à la population locale, peut donc parfois localement contribuer à limiter la longueur des navettes, et donc les émissions de GES liés aux déplacements des travailleurs.

Emissions de CO₂ et consommations énergétiques liées au parc bâti résidentiel

Caractérisation du parc bâti résidentiel

Avant d'entrer dans l'analyse des émissions de CO₂ liées au chauffage résidentiel, il convient de souligner que le parc de logements wallons (résidence principale) apparaît comme particulièrement ancien : plus de 50 % des logements datent d'avant 1945, 86,6 % des logements sont antérieurs à la mise en application de la première réglementation thermique (1985), 91,7 % à la seconde (1996). Deux facteurs concourent à expliquer cette situation : le développement du parc bâti au cours de la période industrielle combiné à l'extension périurbaine et au faible taux de renouvellement dans les années d'après-guerre (peu d'opérations de destruction-reconstruction à l'échelle de la Wallonie).

Les secteurs statistiques présentant le plus fort taux de logements construits avant 1945 se situent de manière prépondérante dans l'ouest de la région ; les centres anciens des bourgs et des villes ressortent également.

Ce parc ancien est constitué principalement de maisons unifamiliales, qui peuvent avoir été divisées dans les périodes postérieures. De façon générale, le parc résidentiel wallon est composé à plus de 80 % de maisons unifamiliales.

On observe par ailleurs une forte cassure dans la dynamique d'accroissement du parc (figure 4). Après le boom économique de l'après-guerre, et la crise énergétique des années septante, le taux annuel d'accroissement du parc de logement chute de plus de 50 % (1,60 % en 1971 et 0,60 % en 1981), pour se stabiliser autour des 0,65 % jusqu'à 2005.

L'écart entre le taux de croissance du parc de bâtiments et celui des logements se creuse entre 1952 et 1972. Cette tendance peut être expliquée par deux phénomènes : soit la division de nombreuses maisons unifamiliales urbaines en plusieurs logements, soit une construction neuve marquée par des bâtiments collectifs. Dans les trente dernières années, le taux d'ac-

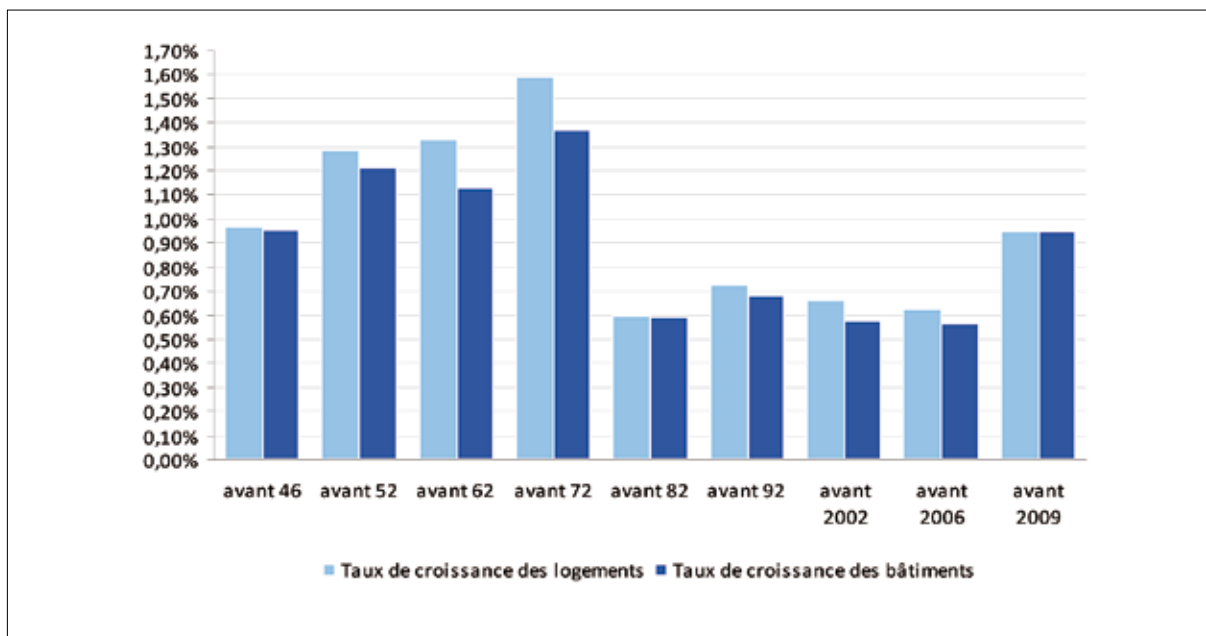


Fig 4. Taux d'accroissement du parc de logement et du parc de bâtiment en Wallonie depuis 1945

SOURCE : INFORMATION CADASTRALE.

croissement du parc de bâtiments et de logements évolue de manière semblable avec peu d'écart, ce qui souligne la permanence de l'hégémonie de la maison unifamiliale dans le patrimoine wallon.

Nous pouvons dès lors réaliser une première projection pour le taux d'accroissement du parc de bâtiments entre 2009 et 2050 sur base de trois hypothèses de croissance : 0,5 %, 0,75 % et 1 %. L'hypothèse des 1 % de croissance annuelle du parc est une projection très optimiste. En effet ces taux n'ont été mesurés en Wallonie qu'entre les années 50 à 70. Dans la première hypothèse (taux de 0,5 %), les bâtiments d'ores et déjà construits représenteront un peu plus de 80 % du parc de 2050. Ce chiffre se tasse à 73,7 % pour un taux de croissance de 0,75 % et à 66,5 % pour un taux de croissance de 1 %. Ces estimations intègrent le taux de renouvellement du parc de bâtiments existants en appliquant une hypothèse identique au taux de renouvellement des logements, soit 0,12 %. On mesure ici nettement le poids considérable du parc existant même à une projection à un horizon de quarante ans.

L'analyse du taux de mitoyenneté par classe d'âge révèle par ailleurs une très forte représentation des trois dernières périodes constructives dans le volume des bâtiments implantés de manière isolée : 64 % des bâtiments construits entre 1971 et 1985, 86 % des bâtiments construits entre 1986 et 1996 et enfin 82 % de ceux construits après 1996 sont isolés. L'implantation en bâti isolé est susceptible d'avoir de lourdes conséquences en termes de consommation énergétique sur les bâtiments peu performants thermiquement. C'est le cas ici des bâtiments construits avant la mise en œuvre de la réglementation thermique de 1984. Soulignons toutefois que l'implantation en ordre dispersé n'est pas une caractéristique récente en Wallonie, bien qu'elle semble s'être généralisée depuis 1986. On observe ainsi une représentation de près de 30 % des bâtiments construits avant 1945 dans le volume global des bâtiments implantés de manière isolée et de plus de 40 % pour les bâtiments construits avant 1971.

Analyse des consommations bâtiments

Il n'est pas surprenant, au vu de ces caractéristiques, que les consommations énergétiques des bâtiments, ramenées au mètre carré de plancher, soient relativement élevées en Wallonie. Sur base des données en notre possession aujourd'hui, on calcule une consommation moyenne de 350 kWh/m².an pour l'ensemble du parc bâti résidentiel. Cette valeur est nettement supérieure à la moyenne calculée sur base des chiffres de l'ICEDD, soit 286 kWh/m².an en 2008 (ICEDD, 2008). La différence entre les deux valeurs est liée d'une part à des considérations méthodologiques. D'autre part, nous considérons de manière conventionnelle que l'ensemble du parc de logements est chauffé pendant toute la période de jour et pour toute la surface de plancher du logement (chambres et espaces secondaires compris). Cette hypothèse, bien que non réelle, est indispensable à une analyse des variables territoriales susceptibles d'influencer ces consommations. Enfin, l'écart entre les deux résultats peut aussi être lié aux phénomènes climatiques : les degrés-jours pour 2008 étaient assez faibles par rapport aux degrés-jours normalisés (2084 en DJ 15/15 à Uccle contre 1829 en 2008, soit un écart avoisinant les 10%).

Lorsque l'on s'intéresse aux consommations des bâtiments selon différentes classes d'âge (tableau 1), il apparaît que la moyenne des consommations décroît naturellement avec l'âge, mais que cette décroissance masque une forte variation, en particulier pour le stock avant 1945. L'écart type observé pour cette classe d'âge est le plus important : 163 kWh/m². Cet écart type est lié aux différences de performances entre les bâtiments avant 1945 mitoyens (en milieu ur-

	Moyenne (kWh/m ²)	Ecart Type (kWh/m ²)
<1945	407,8	163,4
1945-1970	343,7	81,9
1971-1985	328,5	90,7
1986-1996	203,8	35,8
>1996	172,3	40,2

Tab 1. IPE des bâtiments par classe d'âge. Consommations énergétiques finales unitaires moyennes par mètre carré suivant l'âge du bâti.

bain) et non mitoyens (dispersés). La valeur moyenne pour l'ensemble du parc (365 kWh/m²) se rapproche de celle du parc construit avant 1945 en raison de la masse de bâtiments datant d'avant 1945 qui compose ce stock (plus de 50 %).

La cartographie des performances énergétiques des bâtiments (figure 5) vient confirmer cette affirmation. On observe ainsi une forte variation de l'indice des performances énergétiques du stock bâti suivant les différentes sous régions de la Wallonie. Les centres urbains ressortent ici avec un bon indice IPE malgré l'ancienneté du stock. Ces bons résultats peuvent être imputés à la grande compacité des bâtiments et au fort taux de mitoyenneté. A quelques exceptions près, les noyaux urbains historiques apparaissent donc clairement comme les plus performants en terme de consommation énergétique, lorsque l'on compare avec les espaces périurbains et les noyaux villageois. Seules quelques zones de développement récent, comme certaines communes du Brabant Wallon, peuvent leur être comparées.

L'agglomération liégeoise est caractérisée par un IPE particulièrement bon, y compris pour les quartiers centraux assez âgés. Ceci s'explique par les facteurs précités ainsi que par les conditions climatiques de cette zone dans laquelle les degrés-jours normalisés sont significativement inférieurs à la moyenne régionale (2 016 DJ 15/15 à Liège contre 2 380 en moyenne régionale, 2 084 à Uccle et 2 832 à Libramont).

Au sud du sillon Sambre-et-Meuse et au nord du Luxembourg, les performances sont moins bonnes. Pour la première zone, ces résultats peuvent être expliqués en partie par l'ancienneté du bâti et le faible taux de mitoyenneté. Pour la seconde, l'âge moins élevé du parc ne semble pas compenser l'impact de la dispersion des bâtiments. Dans les deux cas, le climat est un facteur fortement impactant : les températures extérieures sont plus rudes que dans le reste de la région. Le Hainaut affiche de grandes variations dans les indices de performances énergétiques, mais de manière générale, l'IPE des bâtiments y est en général moins bon que dans les centres anciens. Ceci s'explique par les caractéristiques du parc bâti résidentiel de cette sous-région, composé en majorité de maisons datant d'avant 1945 implantées en ordre dispersé.

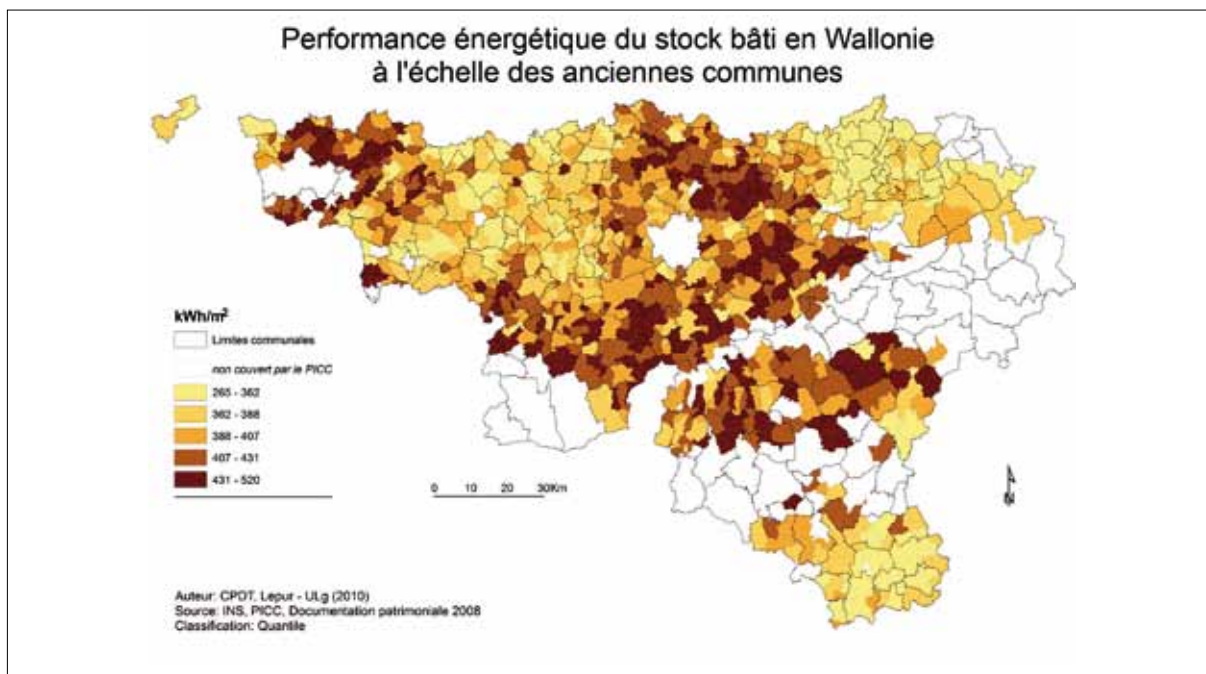


Fig 5. Cartographie des performances énergétiques finales par an par mètre carré chauffé, par ancienne commune, Région wallonne. Les zones blanches ne sont pas couvertes par le PICC et n'ont donc pas pu être prises en compte dans le modèle. ■

Si l'on s'intéressait maintenant aux consommations finales globales, la carte s'en trouverait évidemment inversée. Les pôles urbains affichent en effet de fortes consommations globales en raison de la concentration importante du volume de surfaces à chauffer. Cette concentration et les bons indices IPE dont elles bénéficient font de ces zones des sites po-

tentiellement intéressants pour le développement des réseaux de chaleur. La partie ouest du Brabant wallon, qui présente un bon indice IPE (stock bâti récent, densification en court), affiche des consommations finales globales élevées. Celles-ci sont principalement dues à la grande quantité de surfaces chauffées.

Structuration du territoire et consommations énergétiques

Les deux sections précédentes ont mis en évidence une série de relations entre structure du territoire et, d'une part, les dépenses énergétiques liées aux comportements de mobilité et, d'autre part, les besoins d'énergie dans le parc bâti résidentiel. Ces deux cadastres énergétiques ont été réalisés à l'échelle la plus fine possible, pour nous permettre d'identifier de manière précise quelles sont les variables structurantes qui influencent les émissions de CO₂.

Ces relations ont ensuite été formalisées à travers une analyse statistique, basée sur une étude de corrélation bivariée entre variables territoriales et nos indices de performance énergétiques. Les variables territoriales suivantes ont été retenues en première analyse : la densité (exprimée sous forme de densité brute et nette), l'accessibilité au réseau de mobilité (train, bus et routier) et la mixité des fonctions à l'échelle locale. Ces analyses ont ensuite été complétées par des croisements entre indices de performances énergétiques et variables socio-économiques afin de mesurer le poids de ce facteur « externe » dans l'explication des comportements observés. Nous ne reprenons ici que les conclusions principales de ces analyses et renvoyons le lecteur au

rapport final de la première année de recherche pour une discussion plus approfondie.

Accessibilité au réseau de mobilité

Les variables d'accessibilité au réseau des transports en commun ont été construites sur base d'une analyse spatiale entre les logements et les arrêts de bus et de trains tenant compte des fréquences de passage en ces points. Pour ce qui est du réseau routier, nous nous sommes basés sur une quantification de l'offre en voirie par secteur statistique ainsi que sur la proximité par rapport aux principaux noeuds du réseau.

Il apparaît, à ce stade, que les variables d'accessibilité au réseau de train et de bus sont de loin les plus structurantes en terme de consommations énergétiques de mobilité (tableau 2).

Ceci s'explique par les performances énergétiques relatives de ces modes de transport, mais également par la structure même du réseau routier wallon extrêmement dense sur l'ensemble du territoire. En moyenne, nous avons estimé que les bâtiments résidentiels étaient localisés à une distance euclidienne de 3,8 km d'une

	Accessibilité en train	Accessibilité en bus	Distance au réseau structurant	Densité nette de voirie
IPE (kg éq CO2/trajet)	-,443**	-,426**	,299**	,373**
Moyenne des km/trajet	-	-,387**	,248**	,272**
Part modale voiture	-	-,482**	,183**	,393**
Part modale moto/scooter	-	-	-,027	-,146**
Part modale bus/tram/métro	-	,732**	-,245**	-,299**
Part modale train	,349**	-	-,149**	-,293**
Part modale vélo	-	-	-,011	-,158**
Part modale marche	-	,354**	,057*	-,013

Tab 2. Test de corrélation entre indicateurs d'accessibilité et variables de mobilité. (**) La corrélation est significative à 0.01 (2-tailed).

	Densité de logements nette	Densité de population nette	DAHN	Mixité fonctionnelle nette
IPE mobilité (kg éq CO2/trajet)	-,432**	-,470**	-,483**	-,504**
IPE bâti (KWh / m ² plancher)	-,547**	-,585**	-,603**	-,545**

Tab 3. Test de corrélation entre indicateurs de densité et de mixité et indices de performance énergétiques. (**) La corrélation est significative à 0.01 (2-tailed).

liaison avec une route importante. L'indicateur d'accessibilité au réseau des TEC, intégrant distance des habitations et fréquence de passage aux arrêts, présente un coefficient de corrélation positif assez élevé de 0,732 avec la part modale bus/tram/méto. Il s'agit du coefficient de corrélation le plus élevé entre une variable explicative et une variable comportementale.

Densité et mixité urbaine

De nombreux chercheurs se sont penchés sur la relation entre densité urbaine et consommations énergétiques depuis les travaux de Newman et Kenworthy (1999). Fouchier (1997) a par exemple mis en évidence l'intérêt de travailler sur base de densités nettes (rapportées aux superficies urbanisées) plutôt que sur base de densités brutes. Il a proposé un indicateur d'activité humaine nette (DAH), qui intègre le nombre d'habitants et d'emplois. Il ressort de nos analyses que les densités nettes sont de fait toujours mieux adaptées que les densités brutes pour l'interprétation des comportements de mobilité ainsi qu'à l'analyse des besoins de chauffage. La densité d'activités humaines nettes permet des analyses plus fines que les seules densités de logements ou de population, dans la mesure où l'on observe une substitution du logement par de l'activité dans les noyaux bien desservis par les transports en commun (tableau 3).

Il ressort toutefois de nos premières analyses que l'IPE mobilité est davantage corrélé à la mixité qu'à la densité urbaine (tableau 3). La mixité a ici été calculée sur base de l'application d'un indicateur de « richesse relative », tiré de Forman (1995), aux différents types d'usages du sol que l'on retrouve dans une maille de dix mètres de côté. Cet indicateur de mixité fonctionnelle met clairement en évidence les grandes villes et les vastes zones fortement urbanisées du sillon industriel. Cependant, ce n'est pas nécessairement dans les grandes villes qu'on retrouve une mixité des fonctions maximale ; les centres des petites villes relativement compactes affichent des scores très élevés. On peut même faire remarquer que certains petits villages du monde rural sont assez mixtes.

Cette proposition s'inverse pour l'IPE des bâtiments, qui, logiquement, est mieux corrélé avec les densités d'activité humaines nettes qu'avec la mixité. Ceci s'explique par la liaison sous-jacente entre densité d'ac-

tivité humaine nette et compacité du bâti, un facteur déterminant dans le cadre des consommations énergétiques du parc bâti résidentiel (cf. section 4). Cet indicateur permet d'expliquer les variations que nous avons relevées à l'intérieur du parc de bâti résidentiel d'avant 1945.

Croisement IPE bâti versus IPE mobilité

La figure 6 compare l'énergie journalière dépensée pour les déplacements domicile-travail et pour le chauffage du bâti résidentiel en Wallonie à l'échelle des anciennes communes. L'énergie dépensée pour les déplacements des actifs est exprimée en kWh par navetteur et par jour. Elle tient compte du mode de transport utilisé (voiture, moto/scooter, bus et méto, train, vélo, marche à pied) et de la distance moyenne parcourue lors de chaque trajet. L'énergie consommée

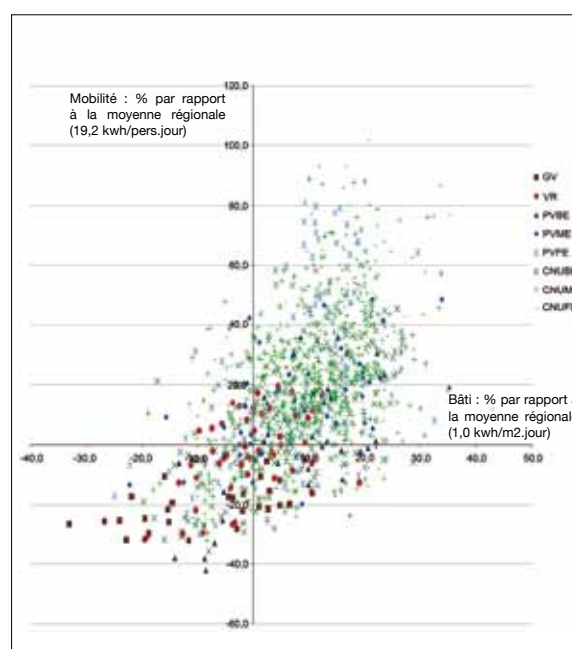


Fig 6. Croisement des performances énergétiques des déplacements domicile-travail et du bâti selon la hiérarchie des communes de Van Hecke (1998). GV= Grande ville ; VR = Ville régionale; PVBE = Petite ville bien équipée ; PVME = Petite ville moyennement équipée ; PVFE = Petite ville faiblement équipée ; CNUBE = Commune non urbaine bien équipée ; CNUME = Commune non urbaine moyennement équipée ; CNUFE = Commune non urbaine faiblement équipée

pour le bâti est exprimée en kWh par mètre carré de plancher. Afin de pouvoir comparer ces deux unités de mesures différentes, nous avons calculé l'écart à la moyenne régionale en pourcent. Ainsi, dans le troisième quadrant du graphique (coin inférieur gauche) se trouvent les anciennes communes jugées globalement comme performantes à la fois en termes de mobilité et de bâti. Inversément, les communes peu performantes se situent dans le quadrant supérieur droit. Les résidents de ces anciennes communes consomment davantage d'énergie à la fois pour se chauffer et pour se déplacer comparé à la moyenne régionale. Les anciennes communes sont classées selon le découpage territorial de la hiérarchie des communes de Van Hecke (1998). De cette manière, les anciennes communes appartenant à des régions « urbaines » peuvent être comparées aux communes plus « rurales ».

Une lecture du graphique par type d'entité met en évidence la bonne performance relative des entités à caractère urbain. Les anciennes communes de grandes villes et la majorité des anciennes communes de villes régionales se caractérisent par une faible consommation énergétique à la fois pour se déplacer et pour se chauffer. Cependant, en ce qui concerne le bâti, certaines anciennes communes appartenant à la commune de Charleroi dépensent plus d'énergie par m² de plancher que la moyenne régionale. Par ailleurs, ce sont les habitants des anciennes communes du centre de Liège et de Charleroi qui dépensent le moins d'énergie pour se chauffer.

Conclusions

Nous avons cherché à mettre en évidence les relations entre structure du territoire et émissions de GES. La posture de base que nous défendons dans le cadre de cette recherche est que la structure territoriale est d'abord caractérisée par une très grande inertie. Elle n'évolue que sur des périodes assez longues et nous sommes aujourd'hui tributaires de dynamiques qui se sont implantées au cours de la période industrielle et dans l'immédiat après-guerre. De ce point de vue, la structure territoriale de la Wallonie est avant tout ca-

A l'opposé, les communes à caractère rural (non urbaines) sont caractérisées par des dépenses énergétiques supérieures à la moyenne pour se rendre au travail et pour se chauffer. En ce qui concerne ce dernier poste, parmi les trente anciennes communes les plus consommatrices, plus de la moitié sont issues des provinces de Namur et de Luxembourg. En ce qui concerne la mobilité, bon nombre d'anciennes communes rurales fortement énergivores se situent à l'est de la Province du Brabant wallon. Notons cependant que bon nombre d'anciennes communes appartenant à des régions non urbaines se situent au même rang que celles de grandes villes et de villes régionales peu consommatrices d'énergie.

Soulignons enfin que l'ensemble des types d'entité est représenté dans le quadrant inférieur gauche. On voit ressortir assez nettement une série d'anciennes communes appartenant à la catégorie des communes non urbaines bien équipées dans cette partie du graphique, ce qui vient encore confirmer l'importance de la mixité fonctionnelle déjà mise en avant dans la section 5.2. Il devrait donc être possible d'envisager des scénarios de structuration du territoire adaptés aux caractéristiques des différents milieux en wallonie, qu'il s'agisse de milieux plus ruraux ou urbains. Il s'agit sans nul doute de la conclusion principale de cette première année de recherche tant il paraît peu réaliste de transposer tel quel le modèle de la ville compacte à l'ensemble du territoire régional. Le lecteur pourra se référer à ce sujet aux travaux de Breheny (1995) pour le Royaume-Uni.

caractérisée par une dispersion importante des pôles d'habitat, d'activités économiques et de services ainsi que par un parc de bâtiments qui a somme toute peu évolué au cours des trente dernières années malgré les efforts consentis par la Région Wallonne en terme de primes à l'isolation et de rénovation urbaine depuis le premier choc énergétique.

Il apparaît essentiel d'envisager aujourd'hui de nouvelles pistes d'action dans ce domaine ainsi que dans

celui de la mobilité des personnes si les objectifs affichés par la Région en terme de réduction des émissions de GES à l'horizon 2050 doivent être respectés. Parmi ces mesures, les facteurs relevant de l'aménagement du territoire ont retenu toute notre attention. Si une partie des difficultés auxquelles nous sommes confrontés aujourd'hui sont intimement liées à des facteurs hérités, il est bien entendu que, réciproquement, les modes d'urbanisation que nous défendrons dans les années à venir sont eux-mêmes susceptibles de conditionner notre capacité à répondre aux défis climatiques à long terme.

Dans cet esprit, nous défendons une approche prospective pragmatique, basée sur une connaissance fine des différents types d'urbanisation que l'on retrouve

sur notre territoire. Nous avons montré à quel point, en raison de la variabilité intrinsèque des résultats observés, il existait toujours des situations beaucoup plus performantes que les moyennes actuelles pour chaque type étudié (rural, périurbain, urbain), dans les différentes sous-régions du territoire. En d'autres termes, certaines pistes de solutions pour répondre aux défis climatiques à l'horizon 2050 sont sans doute déjà là sous nos yeux. Une telle approche nous démarque clairement d'un discours de transformation radicale, inspiré de modèles théoriques mal adaptés à la réalité de notre territoire. Encore faut-il bien mesurer les enjeux liés à une généralisation des performances environnementales des cibles que nous retiendrons. Ce sera là tout l'enjeu de la deuxième année de recherche.

Références

- ADEME (2007). *Guide des facteurs d'émissions*. Version 5.0. 240 pp.
- BOUSSAUW K., WITLOX F. (2009). *Introducing a commute-energy performance index for Flanders*. Transportation Research Part A, n°43, pp. 580-591.
- BREHENY M. (1995). *The compact city and the transport energy consumption*. Transactions of the institute of British Geographers, Vol. 50, n°1, pp. 285-304
- CAIT (2010), <http://cait.wri.org/>, site consulté le 16/10/2010.
- COMMISSION NATIONALE CLIMAT (2008). *Plan National Climat de la Belgique 2009-2012. Inventaire des mesures et état des lieux au 31/12/2008*. Service public fédéral, 143 pp. (lien: http://www.climat.be/IMG/pdf/PNC_2009-2012-2.pdf)
- CPDT (2005). *Protocole de Kyoto : aménagement du territoire, mobilité et urbanisme*, coll. Etudes et Documents, n°6, 203 p.
- EUROPEAN COMMISSION (2010). *Progress towards achieving the Kyoto objectives*. 17 pp. + annex. (lien: <http://ec.europa.eu/environment/climat/gge.htm>)
- FORMAN, R.T.T. (1995). *Land Mosaics : The Ecology of Landscapes and Regions*, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- FOUCHIER V. (1997). *Les densités urbaines et le développement durable : le cas de l'Île de France et des villes nouvelles*, Paris : Secrétariat général du groupe central des villes nouvelles, 211pp.
- ICEDD (2008). *Bilan énergétique de la Région Wallonne*. Bilan provisoire 2008. 45 p.
- IWEPS (2007). *Les chiffres clés de la Wallonie*. Annuel n°7. 14p
- OWENS S. (1986). *Energy, Planning and Urban Form*. London : Pion Ltd., 117 p.
- MAIZIA M., MENARD R., NICOLAS J.P., TELLER J., VIEJO P., LACOSTE G. (2008). *Les gisements du développement urbain : Analyse quantitative à l'horizon 2050 des consommations énergétiques et des émissions de CO2 des tissus urbains*. Rapport PREBAT (non publié).
- MARIQUE A.-F., REITER S. (2010). *A method to assess global energy requirements of suburban areas at the neighbourhood scale*. In : Proceedings of the 7th International IAQVEC Conference on Indoor Air Quality, Ventilation and Energy Conservation in Buildings, Syracuse, New York.

Travel Energy Consumption and the Built Environment: Evidence from Flanders

Consommation d'énergie lors des trajets et environnement du bâti : chiffres probants de la Flandre

K. Boussauw, F. Witlox¹

This paper examines the relationship between energy consumption, daily travel distance and spatial characteristics in Flanders (and partly also in Brussels), in the north of Belgium. Important regional variations in commute-energy consumption are noticed, which are related to the spatial-economic structure including aspects of population density and spatial proximity. It is found that mode choice appears to be of little impact for the energy performance of home-to-work travel at the scale of the Flanders region, while proximity between home and work locations is paramount. At the other hand, when assessing overall daily travel patterns including non-work travel, variables based on the spatial distribution of jobs do not show significant effects on the travel distance. This finding qualifies the limited importance of the commute : today, it are mainly non-professional travel is growing. It can be concluded that residential density and land use mix in urban areas is the best guarantee for curbing excessive mobility.

Cet article examine le rapport qui existe entre la consommation d'énergie, les distances à parcourir chaque jour et les caractéristiques spatiales en Flandre (et en partie également à Bruxelles), dans le nord de la Belgique. On y relève d'importantes variations au niveau des trajets journaliers-consommation d'énergie, liées à la structure économique-spatiale, en ce inclus certains aspects liés à la densité de population et à la proximité spatiale. Il apparaît que le choix du mode semble avoir peu d'impact sur la performance énergétique du trajet domicile-bureau à l'échelle de la région flamande, tandis que la proximité entre le domicile et le lieu de travail se révèle être d'une importance capitale. D'autre part, lorsqu'on évalue les modèles de déplacement professionnel, quotidien et global, en ce inclus le déplacement non professionnel, les variables basées sur la répartition spatiale des emplois n'indiquent pas d'effets significatifs sur les distances à parcourir. Ces résultats nuancent l'importance restreinte du trajet journalier : de nos jours, c'est principalement le trajet non professionnel qui est en hausse. On peut conclure que le mélange de densité résidentielle et d'utilisation de la terre dans les zones urbaines constitue la meilleure garantie pour restreindre la mobilité excessive.

Mots-clé : Développement spatial durable, comportement de voyage, performance énergétique, Flandre

Keywords : Sustainable spatial development, travel behaviour, energy performance, Flanders

¹ Geography Department, Ghent University, Krijgslaan 281/S8, 9000 Gent, Belgium, Tel. : +32 9 264 45 55 - Fax. : +32 9 264 49 85
E-mail : kobe.boussauw@ugent.be ; frank.witlox@ugent.be

Following Newman and Kenworthy (1989), many researchers have put forward the energy efficiency of urban transport as a sustainability indicator. Although Newman and Kenworthy (1989) were repeatedly criticized because of methodological reasons, the rationale for the use of energy performance as an indicator for measuring the sustainability of transport in relation to spatial structure kept upright.

First, this paper investigates the link between spatial structure and energy consumption for home-to-work travel in Flanders (Belgium), from the point of view of the residence (as the origin of commuter trips). To this end the concept of a commute-energy performance (CEP) index will be developed and tested. The interest of this indicator is that it clarifies the ratio between the share of energy consumption that can be attributed to the mode choice, and the share that is on the account of the distance travelled. This indicator is not only considered as a proxy for the sustainability of the commute system in itself, but by extension for the sustainability of the spatial-economic structure as a whole with regards to the spatial distribution of the housing market and the labour market.

Second, we extend the assessment to all quasi-daily trips, based on the conclusions we draw from the composition of the CEP index. This will be done by means of regression analysis, establishing links between some spatial proximity characteristics and the daily distances travelled (which we use in this case as a proxy for CEP).

Energy use and urban spatial structure

The main thesis of Newman and Kenworthy (1989, 1999) is the existence of an inverse relationship between urban density and energy consumption for transport. Their research was based on data from 32 world cities. In a critical reaction to Newman and Kenworthy's (1999) conclusions, based on a new analysis of the same data, Mindali et al. (2004) argue that the assumed general correlation between density and energy consumption for transport is in fact only valid



Kobe Boussauw — PHOTO F. DOR

The results are a basis for further research, which aims to determine the resilience of spatial structures in a climate of incipient fuel scarcity. A better understanding of this matter will uncover social and spatial evolutions, and lead to a policy that facilitates a more sustainable development.

for certain aspects of the urban structure, i.e. in the central business district. Banister (1992) and Banister and Banister (1995) applied a similar methodology as Newman and Kenworthy (1989) on British cities, using data from the National Travel Survey (1985-1986) and the 1981 census. For London, the city with the highest overall density, the analysis does not support Newman and Kenworthy's thesis: energy consumption per capita is slightly higher in the capital than the average in

the other surveyed cities (> 25,000 inhabitants). Dodson and Sipe (2008), on the other hand, introduced the concept of an “oil vulnerability index” as a quantification of the vulnerability of a spatial entity to rising oil

prices, and also take social factors (such as income) into account. They found that those parts of the outer urban fringe where no public rail transport is available, are the most vulnerable.

Commute-energy performance (CEP) index for Flanders and Brussels

In order to exemplify the relationship between the spatial configuration of an urban region and energy use we develop a commute-energy performance (CEP) index. This index is obtained by dividing the total amount of energy consumption for home-to-work travel per census ward (i.e. the smallest geographical research unit) by the working population (active workforce) that lives in the census ward.

In order to take into account the differences in energy efficiency between the different transport modes used, the home-to-work trips are split up into motorized (fuel consuming) trips (car, public transport) and non-motorized trips (on foot, bicycle). For public transport there are significant differences in energy efficiency between bus, tram, metro, and train. Hence, we calculate the mean energy consumption per passenger in relation to the type of public transport used. To keep the relationship between the mode and the distance travelled, for each mode a correction factor is derived from the average trip length that is travelled by each transport mode. For example, train commuters usually cover larger distances than car commuters, or cyclists. Finally the resulting number of person kilometres per mode is multiplied with a standardized value for the energy consumption per mode.

The data used to calculate the CEP index for Flanders and Brussels are drawn from various sources. The so-called General Socio-Economic Survey 2001 (SEE 2001, see: Verhetsel et al., 2007) is a comprehensive survey of the Belgian population (excluding children younger than six years old), which has its origin in the ten-yearly census. The questionnaire of SEE 2001 assesses the distance between home and work and the transport mode used. Data on the average trip

length per mode is based on the Travel Behaviour Research survey in Flanders (OVG1, 2001) (Zwerts and Nuyts, 2004). The standardized values for the energy consumption per mode are taken from De Vlieger et al. (2006), and are based on the French research by Enerdata (2004). All energy values are converted to kilowatt hour per person kilometre (kWh/pkm). In each case the final energy consumption by the vehicle is considered. For the category “car as passenger» the same value is applied as for the category “car driver”, since the default value is set per person and already takes into account the average occupancy rate of the vehicle. More specific variations in energy consumption, such as the distinction between diesel and gasoline cars, or regional differences in the composition of the fleet of personal cars or the ridership of buses and trains, are not taken into account. Further details on the calculation are provided in Boussauw and Witlox (2009).

Results

Spatial distribution of the CEP index

We calculate the CEP index for home-to-work travel, based on the departure zones. Because of the limitations of the available data, the resulting map (Fig. 1) should only be interpreted as an approximation, which aims to uncover the gradients with regard to energy consumption for home-to-work travel in Flanders and Brussels.

According to the mapped CEP index, energy consumption for home-to-work travel seems to be particularly high in those regions which in spatial planning termino-

logy are defined as the countryside (A1-8) (codes are tagged on the map). These regions have in common that they possess a relatively rural character, compared to the labour markets where they are focused on. The regions A1 and A3, for example, are influenced by the labour markets in the metropolitan and urban areas of Brussels, Ghent and Leuven, even if those are relatively distant (Van Nuffel, 2007). In addition, commuters in these rural regions have on average higher incomes which allow them to live outside the city centres in relatively quiet and green environments, being less sensitive to the financial impact of the large daily commuting distances.

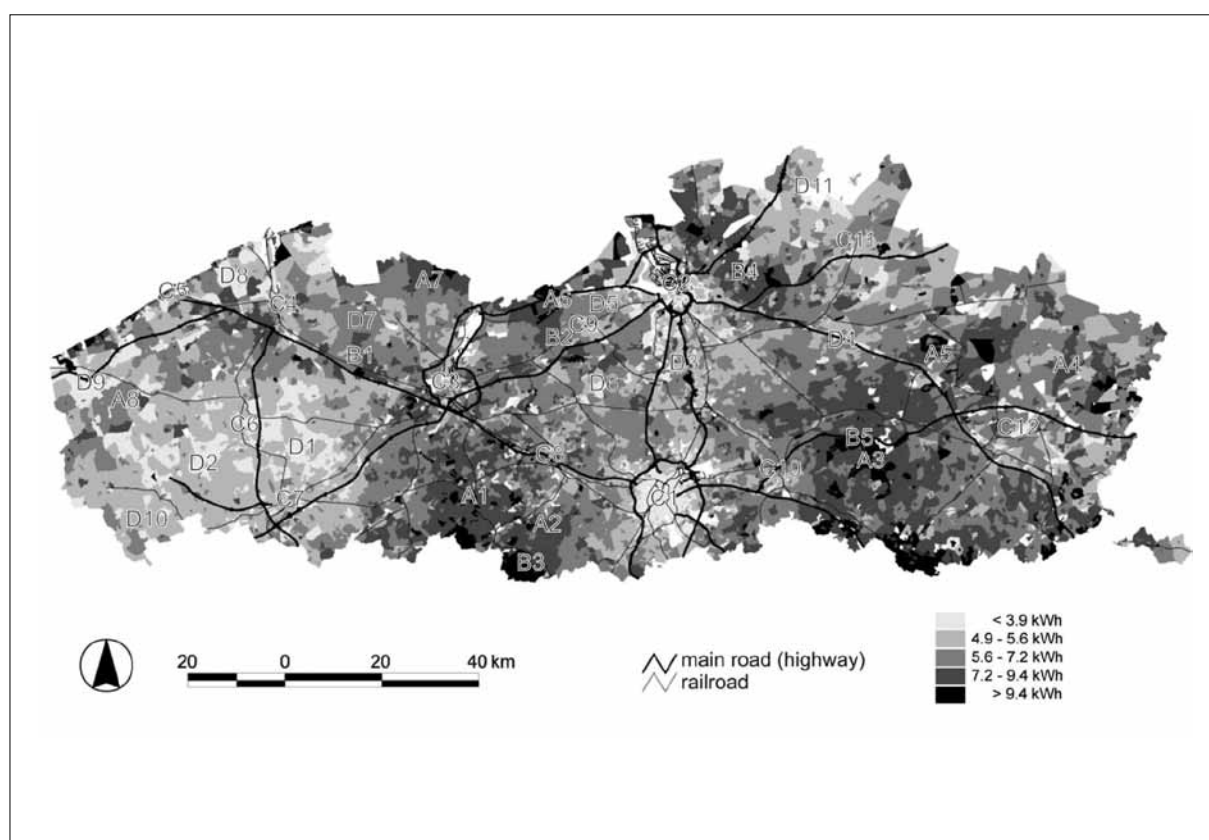


Fig 1. Daily energy consumption per capita for home-work travel (kWh).

Apart from that, some corridors along the motorways are strongly reflected in the map. The locations B1-4 catch the eye. It is clear that in these cases the increased accessibility by the presence of a motorway has contributed to enlarge commuting distances and the increased importance of the car as a transport mode. The area, in which the energy consumption is pre-eminently low, is the Brussels capital region (C1). The Flemish urban area around Brussels has a more or less comparable pattern, but still scores worse than the Brussels' municipalities. This result concurs with what might be expected, as the Brussels region represents the largest job market of the country, and also has the highest population densities. It is therefore consistent with the idea that the match in the labour market supply and demand is achieved within short distances. Moreover, the metropolitan spatial structure is responsible for the relatively large influence of other parameters on the energy consumption, such as modal split and vehicle ownership. This will be discussed below.

Similar patterns occur in the two other metropolitan areas of Antwerp (C2) and Ghent (C3), in which the effect of the metropolitan structure of Antwerp clearly outreaches the case of Ghent. In all regional urban areas, we also find lower energy consumption than the average. But also outside the metropolitan and regional urban areas, there are a number of regions that come out on the right side by their significantly lower energy consumption. The most contiguous region we find at D1-2. This region is characterized by a strong sprawl of less specialized labour, and a strong spatial interweaving of the labour market with the residential structure. The importance of location-bound industries, in particular in the agricultural sector, probably plays a part in this. So, the distance between home and workplace remains relatively confined.

Furthermore, also the corridor Brussels-Mechelen-Antwerp (D3), an important transport artery, scores remarkably well on the map, as well as a part of the economic network of the Albert canal (D4). These economically strong areas have high concentrations of employment in a - at the scale of Flanders - relatively good mix with the residential structure. We see the same phenomenon, albeit on a smaller scale, arising in D5-D7.

The rural areas D8-D11 show rather low figures. Apparently, the relatively poor accessibility of these regions has caused only a few long distance commuters to settle here. In addition, the low population and building density in these regions makes that a rather large share of the population is still working in the local agribusiness.

Spatial patterns and relation to home-to-work distance
To discern the relationship between CEP and average commuting distance, the Pearson's correlation coefficient was calculated (with census ward as a spatial unit). The obtained value is 0.95, meaning that the energy consumption for home-to-work travel is first and foremost determined by the distance between home and workplace. Contrary to what is generally assumed, it appears that the used transport mode plays only a very limited role. This can partly be explained by the fact that the average distance covered by train commuters (on average 48 km in 2000) is much larger than the average journey that is made by car (on average 20 km). Secondly, the bicycle is only an alternative for short trips, which makes this mode only marginally represented in the total number of kilometres. Based on the last finding, in the next section we will limit the assessment to the distance travelled, not going into details on the mode used.

Beyond commuting: general relationships between travel distance and spatial-morphological characteristics

In the next sections, we will extend the assessment to all forms of quasi-daily travel behaviour, linking travelled distance to some spatial proximity characteristics. However, note that also here we only consider the spatial characteristics of the home end of the trip, i.e. the residential area of the respondent. Spatial characteristics of other trip ends, e.g. work place, shopping location, school environment etc. are not taken into account, mainly because of lack of reliable data.

We use regression analysis, with daily kilometrage per person as the dependent variable. Explanatory variables consist of a number of measures of spatial proximity that are observed at various aggregation levels around the individual residential locations. In addition, a number of socio-economic variables are used as control variables. The applied data sets are described below.

After building the model, the obtained equation is used to estimate the mobility generating character of each neighbourhood (i.e. census ward) in Flanders. For each ward the relevant spatial variables are recalculated, from which the expected daily number of generated kilometres per person is regressed. These values are then displayed in the form of a map. When interpreting the map, it is important to realize that the extent to which spatial structure explains the mobility of a resident of any area is indicated by the coefficient of determination (R^2) of the regression equation.

Dependent variable (PKM)

The daily kilometrage per person is used as the dependent variable. The data source is the Travel Behaviour Survey for Flanders (OVG3) (Janssens et al., 2009). OVG3 is a mobility survey conducted during 2007-2008 of 8,800 respondents over the age of 6 years and living in the Flanders region (excluding the Brussels Capital Region). The selection is based on a sample from the national register. The home address of the respondents is recorded. Respondents are asked to keep track of all their trips during a predetermined random day by means of a travel diary. Of the 8,800 res-

pondents, 7,273 have actually moved on that day, and have reported the perceived distance covered by their trips. In our analysis we use the sum of the lengths of all trips reported by the respondent. Because of the nature of the data possible biases inherent in the use of travel diaries should be taken into account (Witlox, 2007).

Explanatory variables

A total of six explanatory variables have been selected (in addition to the control variables, that are discussed subsequently), each of which can be considered as a measure for the mutual spatial proximity with regard to potential destinations. The variables are: (i) accessibility, (ii) residential density, (iii) land use diversity, (iv) job density, (v) minimum commuting distance, and (vi) proximity of facilities. The construction of these variables is explained in the following paragraphs.

Per respondent a circular zones has been drawn of which the midpoint is the reported residential location, with a radius equalling 1 km. Within these circles, data is then averaged on the basis of the proportional overlap with the original zones associated with the used data sets (these are census wards, traffic analysis zones (TAZ's) and a one kilometre square grid respectively).

Accessibility (ACC)

For each census ward, the total distance that should be covered to visit each resident of any other census ward in the study area once and return back home, is summed. This accessibility index thus gives a measure of the interaction opportunities with all other inhabitants of Flanders and Brussels, based on physical distance.

Residential Density (POPD)

The residential density is based on government population data for 2007, aggregated by census ward in Flanders.

Land use diversity (DIV)

To approximate the degree of land use mix, the Strucnet file of the National Geographic Institute (NGI, 2009) was used, containing all buildings that are represented by the official topographic maps with scale 1:10 000. The buildings are divided into categories.

To calculate spatial-functional diversity, we employ the Shannon index. This index is used in landscape ecology as a measure of morphological diversity (Nagendra, 2002). The calculation was done for a square grid based on an area of 1 km², after which results were proportionally aggregated within the three described circular zones.

Job density (JOBDD)

Job density is based on commuting data as provided by the Multimodal Model for Flanders (MMM, version 2007). MMM is a simulation of all personal trips in the Flanders region formatted as an origin-destination (OD) matrix and is based on a combination of various sources of socio-economic data. MMM aggregates arrivals of all commuting trips between 4 am and 11 am in the morning traffic within TAZ's, which are comparable to, but typically slightly larger than, census wards.

Minimum commuting distance (MCD)

This variable was constructed based on the OD-matrices for commuting between 4 am and 11 am, as they were simulated in the MMM. The principle of the method implies that any departure (in this case in the morning traffic) is linked to the nearest possible arrival (also in morning traffic). Per TAZ, the number of departures as well as the number of arrivals are retained, but the in reality existing tie between origins and destinations is cut in order to minimize the total distance travelled within the system. This theoretical exercise provides a good measure of the spatial proximity between the housing market and the labour market. The data are results provided by Boussauw et al. (2010), where details on the calculation can be found.

Proximity to facilities (SPROX)

This variable was constructed based on the spatial distribution of non-work related destinations that are often visited by an average Flemish household, such

as schools, shops, cafes, sports clubs, banks, medical services, ... Per census ward the minimum distance was calculated that needs to be covered by an average Flemish family to get its weekly programme done when always opting for the closest facility within each destination class. This weekly programme for an average family was determined based on data from the second phase of the Travel Behaviour Survey for Flanders (OVG2) (Zwerts and Nuyts, 2004). The data are results provided by Boussauw and Witlox (2010), to which we refer for further calculation details.

Control variables

The OVG3 (Janssens et al., 2009) contains a number of socio-economic data that may explain part of the variance in the reported distance. These variables are : education level (EDU), income level (INC), age (AGE) and gender (GND). We include these in the model as control variables. This means that our research does not focus on the explanatory power of these socio-economic variables, although it is supposed that they make the regression equation more fitting. The selected control variables all exhibit a statistically significant relationship with the reported travel distance and make an important contribution to the model fit.

Education and income levels are included as continuous variables. Because of the assumed non-linear influence of the respondent's age, the age variable is recoded into four dummy variables. Following categories are considered: 0-19 years, 20-39 years, 40-59 years and 60-79 years, while 80 years or older is used as the reference category. Gender is obviously a dummy variable; male is considered as the reference group.

Analysis

For the variables accessibility (ACC), job density (JOBDD) and minimum commuting distance (MCD), no significant effects were yielded. In contrast to our expectations from the first sections of this paper, two of these variables are related to the spatial distribution of jobs (JOBDD and MCD). Although this outcome is unexpected, it can be explained by the small proportion of today's commuter traffic in the total number of trips (20.6%) and total distance travelled (34.5%) (Janssens et al., 2009). Finally, these variables were excluded from the equation. The purified regression equation is as follows :

$$\log_e(PKM) = a + \beta_1 \cdot POPD + \beta_2 \cdot DIV + \beta_3 \cdot SPROX + \gamma_1 \cdot AGE_{0-19} + \gamma_2 \cdot AGE_{20-39} + \gamma_3 \cdot AGE_{40-59} + \gamma_4 \cdot AGE_{60-79} + \gamma_5 \cdot GND + \gamma_6 \cdot EDU + \gamma_7 \cdot INC + \varepsilon$$

(1)

The results of the regression analysis are given in Table 1.

R ² = 0.143	coefficient	p-value
(constant)	1.502	0.000
POPD	-3.99 . 10 ⁻⁵	0.000
DIV	-0.278	0.001
SPROX	0.004	0.000
AGE0-19	0.847	0.000
AGE20-39	1.066	0.000
AGE40-59	0.969	0.000
AGE60-79	0.624	0.000
GND	-0.245	0.000
EDU	0.173	0.000
INC	0.111	0.000

Table 1. Coefficients of the regression analysis

The results are consistent with the literature: significances are satisfactory (all results are within the 0.01 confidence level) at a low coefficient of determination (R² = 14.3%). The relationships found meet the expectations. A higher population density and a higher degree of spatial diversity are associated with shorter travel distances. Also, a larger minimum distance to reach daily facilities is associated with shorter real

travel distances. The age group between 20 and 59 years exhibits the most intensive travel pattern, while women are less mobile than men. Both a higher level of education and a higher income are associated with increased mobility.

The relatively small share of the observed variance that is explained by the model, is common for mobility research. Although this phenomenon is in part due to data deficiencies (including underreporting and randomization of reporting days), the truth lies perhaps in the importance of the many random factors that form the underlying reason for a significant share of individual trips, but are difficult or even impossible to model. An example of this is the so-called random taste variation that is accounted for in many discrete choice modelling techniques (Train, 2003, p. 46). In Flanders, we find similar difficulties in travel behaviour modelling attempts in Witlox and Tindemans (2004).

Forecasting model for Flanders

In order to develop a forecasting, area covering, model based on the results of the regression analysis, we isolate the spatial variables. To this end, the control variables are made constant by equalling these to the mean value of the considered variable in the dataset. Formally :

$$\alpha_{ctrl} = 1.502 + 0.847 \cdot \overline{AGE_{0-19}} + 1.066 \cdot \overline{AGE_{20-39}} + 0.969 \cdot \overline{AGE_{40-59}} + 0.624 \cdot \overline{AGE_{60-79}} - 0.245 \cdot \overline{GND} + 0.173 \cdot \overline{EDU} + 0.111 \cdot \overline{INC} = 3.133 \quad (2)$$

Based on the regression coefficients for the spatial variables the expected amount of generated kilometres

per inhabitant PKMw for each census ward in Flanders w is determined as follows :

$$-0.245 \cdot \overline{GND} + 0.173 \cdot \overline{EDU} + 0.111 \cdot \overline{INC} = 3.133 \quad (3)$$

The mapped result is shown in Fig. 2. The expected amount of generated kilometres per inhabitant based on characteristics of spatial proximity and averaged by census ward is approximately normally distributed and is characterized by the values that are shown in Table 2.

N = 9205		km	
	km	5% percentile	15.3
Mean	23.0	25% percentile	20.2
Median	23.0	75% percentile	25.8
standard deviation	5.1	95% percentile	30.1

Table 2. Features of the distribution of daily generated mobility per capita as expected by the model, based on census wards in Flanders

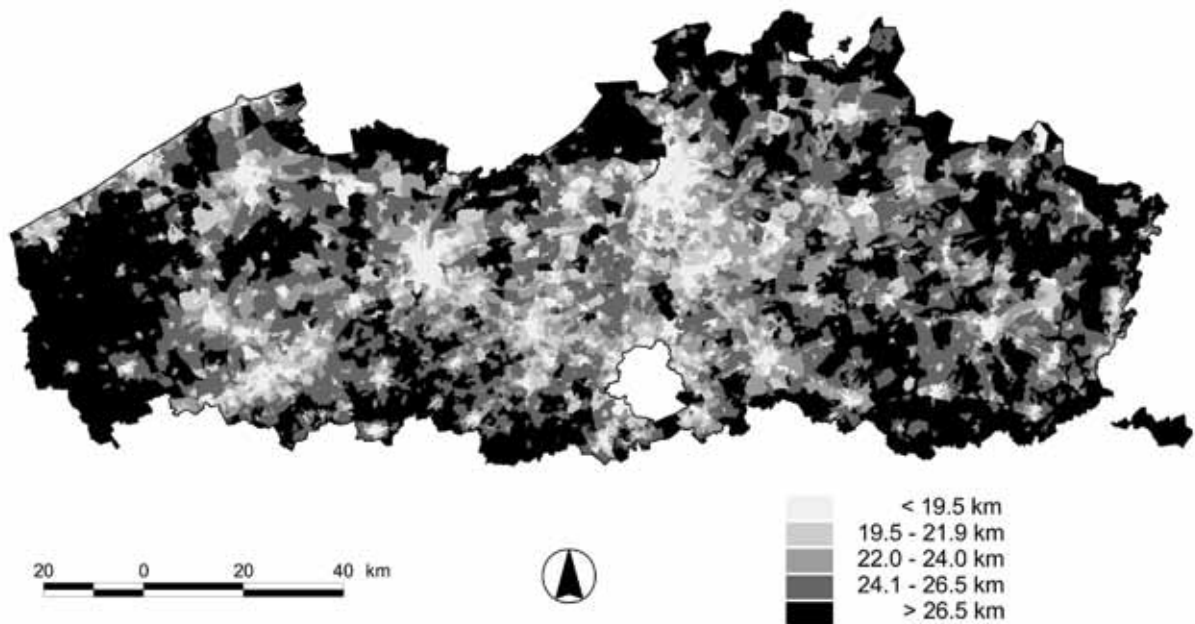


Fig 2. Spatial distribution of the estimated generated mobility per capita based on characteristics of spatial proximity

The 95-percentile value is almost twice as large as the 5-percentile value. This means that, based on characteristics of spatial proximity, the 5% best-located census wards are estimated to generate only half of the mobility of the 5% worst-located wards.

As expected and as shown in Fig. 2, urban areas yield the lowest values, particularly in the historical city centres and a number of nineteenth-century neighbourhoods in Ghent and Antwerp. In regional urban areas mainly Leuven, Mechelen, Aalst, Brugge and Oostende score well. Also the edge of the Brussels conurbation scores quite well, although the agglomeration effect decays rapidly while moving away from the centre of the capital. When we examine regions instead of cities, we see that typically rural areas as well as green and wooded areas with scattered de-

velopment score badly. Conversely, the immediate vicinity of large agglomerations score well, just as the highly suburbanized areas Kortrijk-Leie (in the south-west) and the so-called Flemish Diamond (the area cornered by Ghent, Antwerp, Leuven and Brussels).

Since the OVG3 dataset includes no data on Brussels residents, we cannot a priori state that the modelling results are also valid for Brussels. However, it is possible to extrapolate results, since we do have spatial data for census wards that are located in the Brussels region. Elaborating on this is beyond the scope of this paper, but it should be stressed that the level of spatial proximity is much higher in Brussels compared to Flanders, while travel distances are indeed much lower (Montulet et al., 2007).

Conclusions

We have argued that the energy performance of the transport system is an important approximate indicator for the sustainability of a spatial structure. This is certainly true when advocating a so-called low carbon economy is put increasingly higher on the political agenda. Obviously the link with the spatial or urban (re)development of cities should be made as well. Having a better understanding of the mechanisms that cause the major observed regional variations in energy consumption will lead to better land-use planning in practice.

The issue of proximity in planning remains very important. In home-to-work travel, the distance between home and workplace is to a very large extent determinant for the energy performance of the commuting system. Contrary to the conventional belief, the mode used is of less importance. In this respect we notice a discrepancy with the current mobility policy of the Flemish government, which is very much focused on the reduction of the share of car drivers, but much less on a reduction of the number of kilometres, despite an increase by 10% of the average commuting distance between 1991 and 2001 (Verhetsel et al., 2007).

However, when we extend the analysis to all quasi-daily travel, which consists mainly of non-work travel, the spatial distribution of jobs in relation to housing loses interest. In contrast, residential (population) density, proximity of facilities and spatial diversity (functional mix) seem to be determinant when it comes to the relationship between sustainability of daily travel patterns and spatial (land use) characteristics (Boussauw et al., 2011).

Not unexpectedly, the most urbanized areas turn out to be the most resilient and sustainable locations. This means that a further increase of residential density and land use mix in urban areas is the best guarantee for curbing excessive mobility and preparing for the end of cheap oil. However, this conclusion requires some qualification: there are limits to increasing density and land use mix targeted to sustainable mobility patterns, primarily by environmental standards and social desirability (Gordon and Richardson, 1997).

Acknowledgements

This research has been made possible within the Flemish Policy Research Centre for Housing and Space, funded by the Ministry of the Flemish Community.

Références

- BANISTER D. (1992) *Energy use, transport and settlement patterns*. Sustainable Development and Urban Form ed M.J. Breheny, pp. 160-181. Pion Ltd., London.
- BANISTER D. AND BANISTER C. (1995) *Energy consumption in transport in Great Britain : Macro level estimates*. Transportation Research Part A, 29, 21-32.
- BOUSSAUW K., NEUTENS T. AND WITLOX F. (2010) *Minimum commuting distance as a spatial characteristic in a non-monocentric urban system : the case of Flanders*. Papers in Regional Science, 89.
- BOUSSAUW K., NEUTENS T. AND WITLOX F. (2011) *The relationship between spatial proximity and travel-to-work distance : The effect of the compact city*. Regional Studies (forthcoming).
- BOUSSAUW K. AND WITLOX F. (2009) *Introducing a commute-energy performance index for Flanders*. Transportation Research Part A, 43, 580-591.
- BOUSSAUW K. AND WITLOX F. (2010) *Excess travel in non-commuting trips : a regional case study*. Lisbon : Proceedings of the World Conference on Transport Research.
- DE VLIET I., CORNELIS E., PANIS L., SCHROOTEN L., GOVAERTS L., PELKMANS L., LOGGHE S., VANHOVE F., DE CEUSTER G., MACHARIS C., PEKIN E., VAN MIERLO J., TIMMERMANS J.-M., MATHEYS J., VAN BLADEL K., DE JONG M., DE GEEST C., AND VAN WALSUM E. (2006) MIRA (2006) *Milieurapport Vlaanderen, Achtergronddocument 2006, Transport*. Vlaamse Milieu-maatschappij, Aalst.
- DODSON J. AND SIPE N. (2008) *Shocking the suburbs : urban location, homeownership and oil vulnerability in the Australian city*. Housing Studies, 23, 377-401.
- ENERDATA S.A. (2004) *Efficacité Energétique des Modes de Transport : Rapport Final*. Grenoble-Gières.
- GORDON P. AND RICHARDSON H. W. (1997) *Are compact cities a desirable planning goal ? Journal of the American Planning Association*, 63, 95-106.
- JANSSENS D., MOONS E., NUYTS E. AND WETS G. (2009) *Onderzoek Verplaatsingsgedrag Vlaanderen 3 (2007-2008)*. Brussel-Diepenbeek : Universiteit Hasselt.
- MINDALI O., RAVEH A. AND SALOMON I. (2004) *Urban density and energy consumption : a new look at old statistics*. Transportation Research Part A, 38, 143-162.
- MONTULET B., HUBERT M. AND HUYNEN PH. (2007) *Être Mobile. Vécus du Temps et Usages des Modes de Transport à Bruxelles*. Brussels : Facultés universitaires Saint-Louis.
- NAGENDRA H. (2002) *Opposite trends in response for the Shannon and Simpson indices of landscape diversity*. Applied Geography, 22, 175-186.
- NEWMAN P. AND KENWORTHY J. (1989) *Cities and Automobile Dependence*. A Sourcebook. Gower, Aldershot.
- NEWMAN P. AND KENWORTHY J. (1999) *Sustainability and cities : overcoming automobile dependence*. Island Press, Washington DC.
- NGI (2009) *Structuur en codering van de gegevens top10v-gis en top50v-gis*. National Geographical Institute of Belgium from http://www.ngi.be/Common/articles/CA_Top10V-GIS_TOP50V-GIS/restruct_doc_nl.htm.
- TRAIN K. (2003) *Discrete Choice Methods with Simulation*. Cambridge, UK: University Press.
- VAN NUFFEL N. (2007) *Determination of the number of significant flows in origin-destination specific analysis : The*

case of commuting in Flanders. *Regional Studies*, 41, 509-524.

VERHETSEL A., THOMAS I., VAN HECKE E. AND BEELEN M. (2007) *Pendel in België. Deel I : de Woon-Werkverplaatsingen*. Federale Overheidsdienst Economie, KMO, Middenstand en Energie, Brussels.

WITLOX F. AND TINDEMANS H. (2004) *Evaluating bicycle-car transport mode competitiveness in an urban environment*. An activity-based approach. *Journal of World Transport Policy & Practice*, 10, 32-42.

WITLOX F. (2007) *Evaluating the reliability of reported distance data in urban travel behaviour analysis*. *Journal of Transport Geography*, 15, 172-183.

ZWERTS E. AND NUYTS E. (2004) *Onderzoek Verplaatsingsgedrag Vlaanderen 2000-2001*. Ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, Brussels-Diepenbeek.

Prospective à l'horizon 2050 du développement urbain en France et implications énergétiques et spatiales des secteurs de l'habitat et de la mobilité quotidienne

2050 Forecast Of Urban Development In France And Energy And Space Implications For The Housing And Daily Mobility Sectors

Mindjid Maizia¹

Fondé sur un modèle construit à partir de corrélations empiriques observées entre 1999 et 2006 et établissant des liens mécaniques entre stock de logements, mobilité quotidienne et artificialisation du sol, cet article propose une prospective à l'horizon 2050 des consommations d'énergie des logements (de chauffage et d'eau chaude sanitaire) et des transports (migrations pendulaires en voitures particulières) et des consommations de sols non urbanisés. Trois scénarios contrastés y sont examinés : le premier, à travers une projection tendancielle, présuppose que les ménages poursuivent leur localisation dans les communes les plus attractives du point de vue de l'emploi et continuent de délaisser celles supposées ne pas l'être ; le second simule à l'horizon 2050 une migration résidentielle vers des communes dont les mobilités quotidiennes se réalisent à des distances moyennes de l'emploi de plus de dix kilomètres ; enfin, un troisième, à l'inverse du second, quantifie les effets sur les consommations d'énergie et sur l'occupation de l'espace, des migrations vers les communes situées à moins dix kilomètres de l'emploi.

Based on a model built on empirical correlations observed between 1999 and 2006 and establishing mechanical ties between housing stock, daily mobility and artificialisation of the land, this article proposes a 2050 forecast of energy consumption in households (heating and sanitary hot water) and in transport (pendular migrations in private cars) and in the consumption of non-urbanised land. Three contrasting scenarii are examined therein: the first, through a trend projection, presupposes that households continue to locate in communes that are attractive from the employment point of view and continue to forsake those that are deemed to be otherwise; the second simulates for 2050 a residential migration to communes whose daily commuting is achieved with average distances from work of more than ten kilometers; finally, a third, contrary to the second, quantifies the effects on energy consumption and space occupancy from migrations to communes located at less than ten kilometers from the work.

Mots-clé : Prospective, énergie, chauffage, eau chaude sanitaire, habitat, transport, occupation du sol.

Keywords : Forecast, energy, heating, sanitary hot water, housing, transport, land occupancy.

¹ Laboratoire CITERES, Polytech Tours, Département Aménagement, 64 avenue Jean Portalis 37200, Tours, France
mindjid.maizia@univ-tours.fr



Mindjid Maïzia — PHOTO F. DOR

La recherche « *Les gisements du développement urbain : Analyse quantitative à l'horizon 2050 des consommations énergétiques et des émissions de CO₂ des tissus urbains* » [1] a pour principal objectif de quantifier les effets des modes d'urbanisation sur les consommations d'énergie et d'espace. Cette recherche, financée pour le Ministère français de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement durable et de la Mer, considère l'urbanisation comme un jeu de migrations résidentielles : ce jeu est supposé modifier la structure des stocks locaux de logements, allouer aux arrivants les mobilités locales et peser sur l'organisation urbaine en termes d'occupation du sol. Il s'agit alors d'examiner les conséquences énergétiques et spatiales de telles dynamiques à partir d'une modélisation quantitative. Le modèle développé dans le

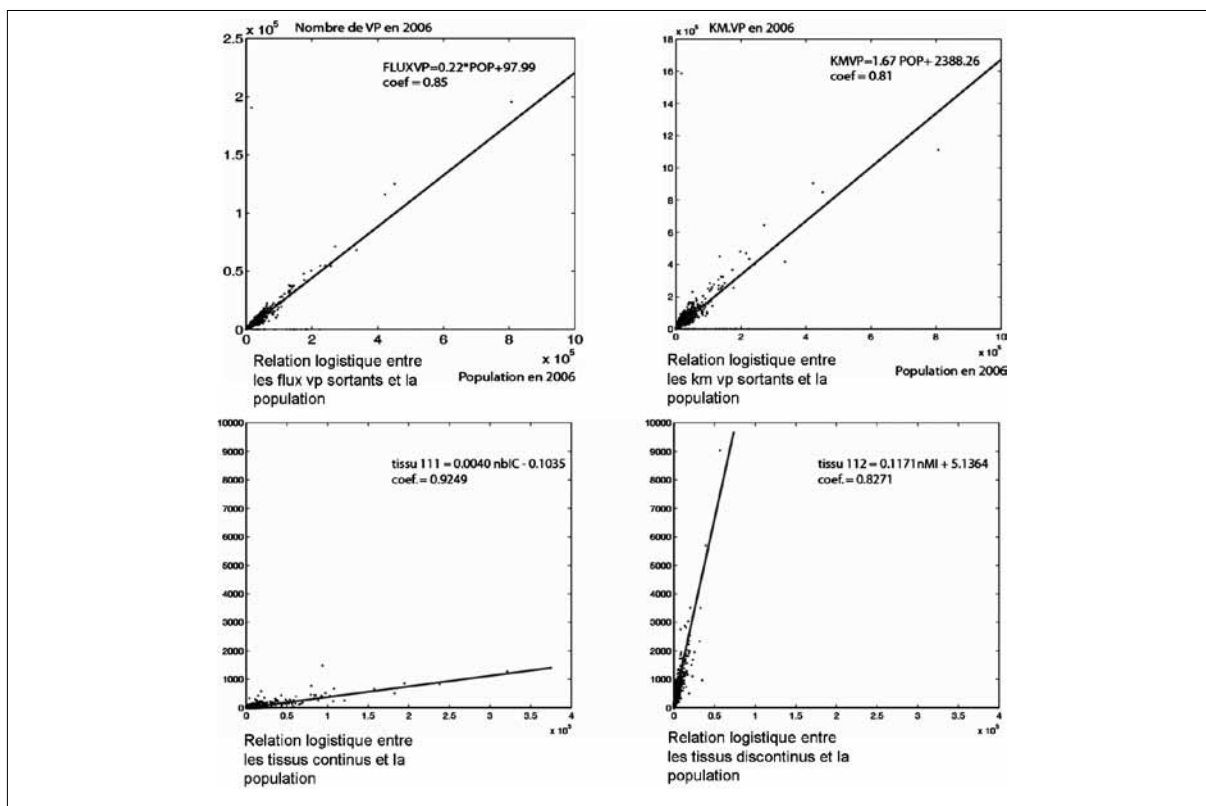


Fig 1. Relations empiriques du modèle

cadre de cette recherche repose sur une approche considérant que des liens mécaniques entre variables peuvent être construits à partir d'une ou de plusieurs corrélations empiriques observées à un instant donné (en 1999 et 2006, Fig. 1). Cette approche, plus descriptive que théorique, a l'avantage d'être robuste et adaptée à des prospectives à moyen et long terme. En effet, considérer que des liens empiriques peuvent construire la « mécanique » d'un modèle est raisonnable lorsqu'on envisage qu'aucune rupture (d'ordre technologique, comportementale, etc.) ne fera partie des « développements urbains possibles » que l'on rendra visibles lors des projections en prospective.

A l'instar des exercices habituels de prospective, l'étendue de ces possibles est ici construite sur la base des cas existants en 2006. En d'autres termes, la projection à l'horizon 2050 consiste à appliquer à l'ensemble du territoire (segmenté en communes) le modèle d'urbanisation qu'une ou plusieurs localités ont choisi d'adopter à l'heure actuelle. La prospective revient ainsi à généraliser les situations urbaines de quelques communes supposées « vertueuses » ou « dommageables » d'un point de vue des consommations d'énergie et des émissions de CO₂ et à éliminer de fait tous les cas supposés impossibles.

Hypothèses et architecture du modèle

La scénarisation du développement urbain est fondée sur la notion de « modèle de communes », elle-même réduite à une représentation vectorielle du fait urbain observé en 2006 selon cinq dimensions : l'importance démographique de la ville (sa population), la distance moyenne qui la sépare des lieux d'emploi, la part de tissu urbain continu² et discontinu³ définie selon la nomenclature de l'Institut Français de l'Environnement [2] et, enfin, celle de l'artificialisation du sol.

La production de scénarios prospectifs revient à ventiler la population vers ces « modèles de communes » à divers horizons et d'observer les effets énergétiques pour les secteurs de l'habitat et des transports et les effets en termes d'occupation du sol.

Construire un scénario consiste d'abord à considérer qu'en bâtissant des « modèles », les communes poursuivent leur développement urbain ou rural selon un sous-scénario démographique de référence. Ce sous-scénario est fondé sur les deux hypothèses centrales d'évolution de la population métropolitaine de l'Institut

national de la statistique et des études économiques (INSEE) : d'une part, sur celle relative à la population totale française à l'horizon 2050, d'autre part, sur le modèle OMPHALE réalisé à l'échelle départementale à l'horizon 2030 [3].

Comme nous le signalions plus haut, la modélisation, en termes de prospective, débute par la détermination de « modèles de communes » appartenant au paysage des situations urbaines ou rurales observables en 2006. Ces « modèles » deviennent, à ce titre, la cible de migrations résidentielles « virtuelles » de la population des autres communes. Les communes cibles connaissent ainsi, par simulation, un développement urbain amplifié par un solde migratoire tout en poursuivant leur dynamique de 1999 et 2006. Ces dynamiques déterminent la structure du parc de logements en termes typologiques, tout en respectant les plafonds démographiques fixés par le scénario central de l'INSEE et par les projections du modèle OMPHALE. Un scénario tendanciel revient, par cette approche, à considérer la totalité des communes du territoire mé-

2 Selon [2] : « Espaces structurés par des bâtiments et les voies de communication. Les bâtiments, la voirie et les surfaces artificiellement recouvertes représentent plus de 80 % de la surface totale. La végétation non linéaire et le sol nu sont exceptionnels. »

3 Selon [2] : « Espaces structurés par des bâtiments. Les bâtiments, la voirie et les surfaces artificiellement recouvertes coexistent avec des surfaces végétalisées et du sol nu, qui occupent de manière discontinue des surfaces non négligeables. »

tropolitain comme des cibles. A contrario, un scénario contrasté (en termes de « volontarisme ») est équivalent à sélectionner un ensemble très réduit de cibles (mais jamais de taille nulle).

Dans ce derniers cas, le modèle impose la construction virtuelle d'un parc de logements neufs extrêmement important avec des parts de marché de systèmes de chauffage progressant selon les dynamiques locales observées entre 1999 et 2006.

La structure du stock de logements agit alors sur les modalités d'occupation du sol en termes de quantité de surfaces artificialisées, principalement de tissus continus ou discontinus. Selon les relations empiriques du modèle, plus les cibles visées contiendront des maisons individuelles, plus on encouragera, « virtuellement », une urbanisation discontinue. A l'inverse, un modèle de commune dominé par des immeubles collectifs engendrera potentiellement une urbanisation plus compacte.

Enfin, le nouveau solde de population induira une mobilité locale en voiture particulière selon les règles propres à la cible. Ces règles concernent la distance moyenne observée en 2006, l'intensité des flux sortants pondérés par les effets d'offre en transport en commun. Plus la commune cible sera proche des

zones d'emploi et dotée d'une importante offre de transport en commun, plus les distances totales parcourues en voiture particulière, en comparaison à un scénario opposé, seront faibles.

Trois scénarios seront examinés ici. Le choix d'en retenir un nombre si restreint, s'explique, comme on le verra plus loin, par la modestie des écarts entre les résultats des modélisations (et donc par la faiblesse de l'éventail des possibles) en termes de consommations d'énergie finale et primaire, d'émissions de CO₂ des secteurs de l'habitat et des transports et en termes d'artificialisation du sol.

Le premier scénario, à travers une projection tendancielle, est ici envisagé comme tenant lieu de référence. A ce titre, il présuppose que les ménages poursuivent leur localisation dans les communes les plus attractives et continuent de délaisser celles supposées ne pas l'être. Un second scénario baptisé « scénario d'éloignement » simule à l'horizon 2050 une migration des ménages vers des communes dont les migrations alternantes se réalisent à des distances moyennes de l'emploi de plus de dix kilomètres. Un troisième scénario, à l'inverse du second, examine les effets des migrations résidentielles vers les communes situées à moins dix kilomètres de l'emploi.

Le parc de logements : bilan énergétique et émissions de CO₂

L'évolution du parc de logements et des systèmes thermiques

Il n'est pas utile de développer ici les divers scénarios relatifs à l'évolution de la population française à l'horizon 2050. Rappelons simplement que la quantité attendue de logements résulte de la croissance numérique du nombre d'habitants que devrait contenir le territoire métropolitain (plus la Corse) et de la réduction progressive de la taille des ménages pendant la période. Le peuplement moyen d'un logement devrait atteindre à l'échéance 2050 près de 2,04 per-

sonnes/logement si l'on accepte l'hypothèse qu'il se stabilisera aux alentours de 2030. Le parc des résidences principales passerait ainsi de près de 26 millions d'unités en 2000 à un peu moins de 34 millions en 2050 (Fig. 2).

Outre son évolution numérique, le parc connaîtra des transformations d'ordre technique dans les solutions bâties, notamment en ce qui concerne l'enveloppe. Dans cette présentation, on estime que la mise en œuvre des dispositions des réglementations thermiques ne connaîtront aucun retard et respecteront les

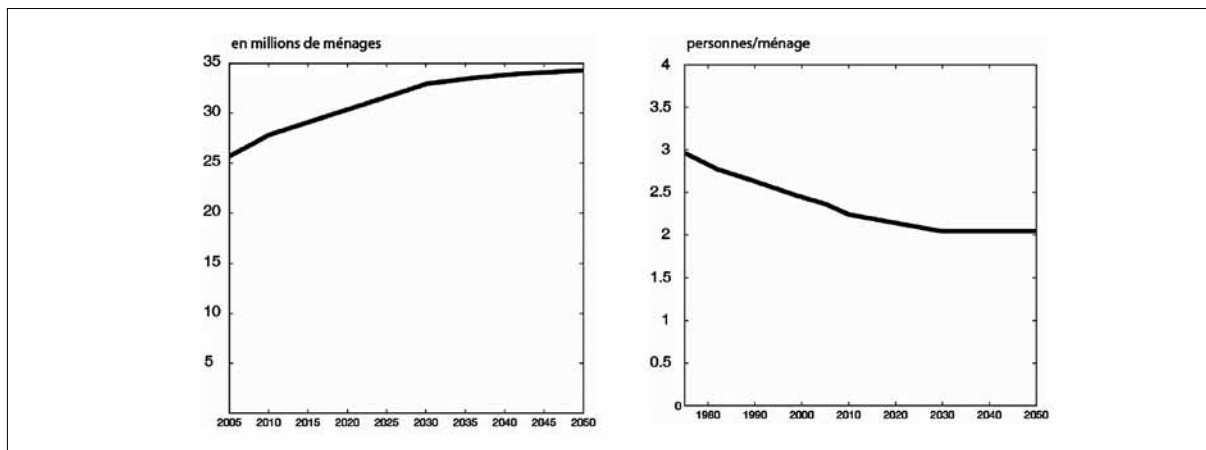


Fig 2. Évolution démographique à l'horizon 2050. a) Nombre total de ménages selon le scénario central et le modèle OMPHALE de l'INSEE. b) Taille moyenne des ménages selon OMPHALE et projection linéaire jusqu'à 2050

échéances de 2012 et 2020. Examinées uniquement du point de vue de l'appel de charges (de la demande), ces échéances concernent, dans le logement neuf, l'application des niveaux de consommations du label BBC (Bâtiments Basse Consommation).

Outre un plafond des consommations totales des bâtiments en énergie primaire ne dépassant pas 50 kWh/m² (avec des pondérations selon les zones climatiques et l'altitude), ce label impose une production thermique d'eau chaude sanitaire (ECS) représentant au moins 50% des consommations du logement. Réglementaire en France à partir de 2012, il est réputé parfaitement atteint dans le logement neuf grâce à des installations de solaire thermique et à une orientation appropriée du bâti. La productivité des capteurs thermiques et le taux de couverture des besoins sont approchés grâce à une méthode d'interpolation du rayonnement solaire (en tenant compte de la nébulosité) et un calibrage avec la méthode SOLO [4]. La pénétration de ces installations dans le neuf est ainsi totale de 2012 à 2050 quelle que soit la zone climatique. Le rendement de génération des systèmes d'appoint suit celui des systèmes de chauffage. Le taux de réduction des consommations d'eau poursuit, de 2000 à 2050, une croissance linéaire jusqu'à atteindre un taux de 70%.

Dans les simulations qui viendront plus bas, on exclut du calcul la compensation électrique des logements (qui deviennent par ce biais des BEPOS, Bâtiments à Energie Positive), compensation devenant obligatoire en France à partir de 2020. En effet, le calcul étant limité ici aux consommations de chauffage et d'ECS, il aurait été nécessaire d'intégrer, afin de mesurer l'ampleur de la production électrique du bâti à partir des techniques photovoltaïques, celles des autres postes, en particulier l'éclairage et les systèmes auxiliaires. En outre, la question de la compensation est avant tout une question de production énergétique. Or nous avons fait le choix, dans cette présentation, d'examiner exclusivement la problématique de la demande.

Enfin, aucune hypothèse d'actions techniques sur le bâtiment n'a été ici formulée. Cette recherche, en cherchant à isoler les effets induits par la dimension urbaine, écarte tous gestes réalisables à l'échelle du bâti (notamment la réhabilitation thermique des enveloppes). Seules les tendances lourdes relatives aux systèmes de chauffage sont intégrées dans l'analyse prospective. Ces hypothèses sont empruntées à [5]. On estime alors que les rendements des émetteurs de l'électricité demeureront constants (0,95) pendant que les autres types de systèmes gagneront environ 0,2 en rendement global (génération, distribution et émission, Fig. 3).

Les consommations d'énergie de chauffage et d'ECS selon les scénarios de localisation des ménages

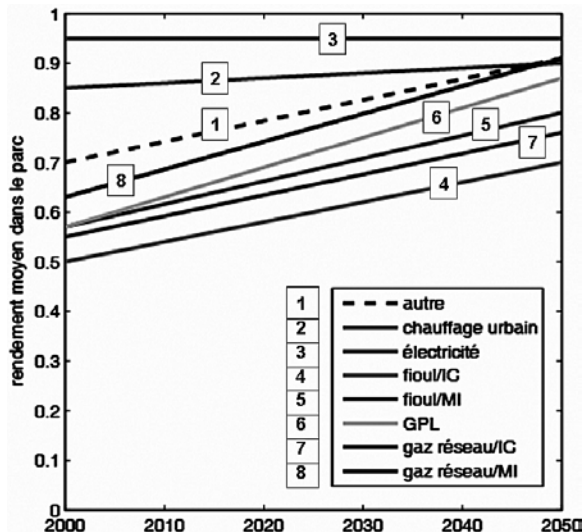


Fig 3. Evolution des rendements globaux des systèmes de chauffage selon [5] et pour le chauffage urbain M. Maizia, CITERES

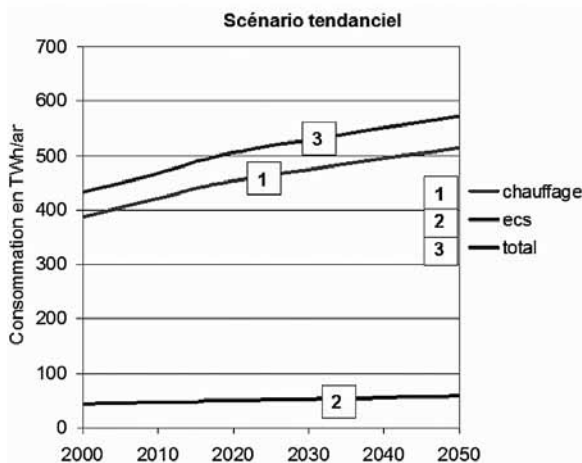


Fig 4. Consommations en énergie finale (en TWh/an) du chauffage et de l'ECS à l'horizon 2050 selon un scénario tendanciel.

De l'ordre de 385 TWh/an en 2000, les consommations de chauffage passeraient, selon un scénario tendanciel, à 515 TWh/an en 2050 (soit une croissance de l'ordre de 32 %) lorsque l'on ne tient pas compte des réhabilitations qui pourraient être réalisées dans cet intervalle et que l'on admet l'ensemble des hypothèses du modèle et celle relatives à l'évolution des rendements des systèmes évoquées plus haut (Fig. 4). Les consommations d'ECS progresseraient de près de 44 à 57 TWh/an (une croissance en pourcentage du même ordre que celle du chauffage). Les consommations par ménage diminueraient légèrement grâce aux efforts réalisés sur le bâti édifié à partir de 2012 et sur les rendements des systèmes de chauffage tout le long de la période. De près de 18,6 MWh/an/ménage, la consommation d'énergie finale pour ces deux postes avoisineraient à l'horizon 2050 environ 17 MWh/an/ménage. Ces gains par ménage de moins de 10 % sont quasi identiques pour le chauffage et l'ECS mais ont des causes bien distinctes : les gains sont principalement dus, pour le chauffage, aux effets mécaniques du jeu de parc de logements, le poids des logements construits selon le label BBC à partir de 2012 pesant sur la moyenne ; pour l'ECS, ce sont les effets de pénétration des économiseurs d'eau couplés à l'amélioration des rendements des chaudières fonctionnant principalement au gaz qui explique la plus grande partie de ce gain.

Si les tendances observées entre 1999 et 2006 se poursuivaient, la structure du parc, en proportion, se modifierait très peu hormis le déstockage significatif de près d'un million de maisons individuelles (Fig. 5). Outre la non prise en cause des efforts de réhabilitation, c'est cette entrée massive de logements anciens (antérieurs à 1949) possédant de grandes surfaces habitables qui explique le niveau assez élevé des consommations en énergie finale du chauffage. Cette augmentation est peu compensée par l'amélioration des rendements de génération et par la croissance des parts de marché du chauffage électrique. Cette dernière passerait en effet à 12 millions de logements (contre un peu plus de 7 millions en 2006) et devrait contribuer à diffuser des rendements de génération proches de 0,95 mais à alourdir quelque peu le bilan en énergie primaire des segments anciens (ce qui ne serait pas le cas du parc

neuf grâce, notamment, à l'adoption de pompes à chaleur permettant de respecter le plafond établi par le label BBC). Dans un tel scénario, le gaz en réseau perdrait des parts de marché dans l'immeuble collectif (1 million) pour en gagner autant dans la maison individuelle et pour réduire son poids relatif par rapport à 1999. Signalons que cette permutation n'en serait

réellement pas une d'un point de vue énergétique car l'échange ne se ferait pas sur les mêmes bases de surfaces habitables, ni sur celles des besoins de chauffage. Les seuls systèmes de chauffage en réseaux qui bénéficieraient d'une croissance significative seraient le chauffage urbain qui atteindrait près de 2,5 millions d'unités, exclusivement dans l'immeuble collectif.

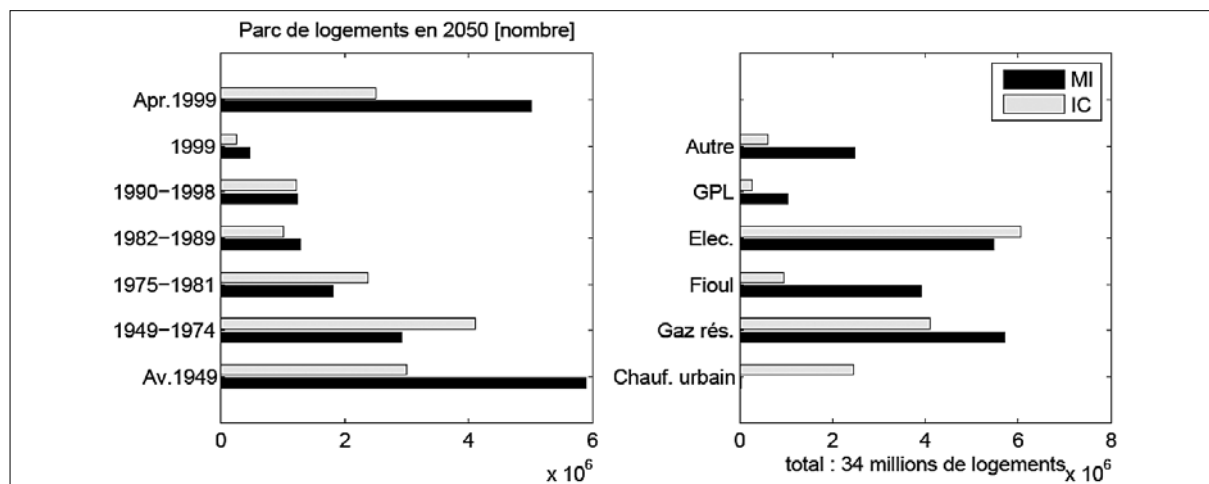


Fig 5. Structure du parc de logements par type, période de construction et système de chauffage à l'horizon 2050 selon un scénario tendanciel

Le scénario d'éloignement à plus de dix kilomètres de l'emploi conduirait quant à lui à une croissance des consommations de chauffage et d'ECS de l'ordre de 22% (soit 526TWh/an). La faiblesse relative par rapport au scénario tendanciel (de l'ordre de 8%) s'explique par le nombre de logements neufs supplémentaires qu'il faudrait construire pour mettre en œuvre cet éloignement (près du double par rapport au scénario précédent) et le poids plus important des édifices répondant aux exigences BBC. Notons que ces deux propriétés du stock de logements se retrouvent dans tous les scénarios. Les consommations moyennes par ménage pour le chauffage et l'ECS passeraient ainsi de 18,6 en 2000 à un peu plus de 16 MWh/ménage/an en 2050.

Dans ce scénario, le poids de la maison individuelle neuve serait quatre fois supérieur à celui de l'immeuble collectif et accélérerait l'érosion de ce dernier segment dans le stock existant en 2006. Le parc de logements avoisinerait 30 millions d'unités, soit près de quatre millions de moins de ce que suggère la tendance. Cette diminution de la taille du parc, qui amplifie la réduction des consommations en énergie finale, s'explique par un peuplement des logements convergeant vers celui de la maison individuelle (et de ce fait sensiblement supérieur à la tendance). Les systèmes en réseau favorables à l'immeuble collectif, tant le gaz que le chauffage urbain, seraient les grands perdants d'un tel scénario, puisqu'ils perdraient respectivement pas moins de 500 000 et un million d'unités par rapport à 2006. Néanmoins, il apparaît que le chauffage

électrique ne profiterait que peu de cette régression des systèmes en réseau : le bois et dans une moindre mesure le fioul gagneraient en effet autour d'un million de logements. La croissance des parts de marché de l'électrique serait, comme dans le scénario précédent, plutôt énergétique au regard des surfaces habitables de la maison individuelle.

De façon analogue, un scénario de rapprochement à moins de dix kilomètres de l'emploi nécessiterait la construction de logements neufs dont le poids devrait impliquer une baisse significative de la demande de chauffage et d'ECS. Mais à l'inverse des deux premiers scénarios, la dynamique du stock permettrait une décroissance des consommations de chauffage de l'ordre de 13% par rapport à 2000 (environ 340 TWh/an), les consommations en énergie finale d'ECS poursuivant leur croissance dans les mêmes ordres de

grandeur que ceux des deux premiers scénarios. Ce qui ramènerait le gain pour les deux postes à environ 10 % par rapport à 2000. En passant les consommations finales moyennes à 12 MWh/ménage/an, ce scénario, par ses effets structurels de parc et malgré un stock plus important que celui du scénario précédent (avec un surplus de plus de 3 millions d'unités), mènerait à des réductions des consommations de chauffage et d'ECS de l'ordre de 46 et 34% par rapport aux scénarios tendanciels et d'éloignement à l'emploi.

Ce scénario favorable à l'immeuble collectif accentuerait l'érosion de la maison individuelle et conduirait à un partage sensiblement égal entre les deux types pour le logement neuf (avec un léger avantage pour le logement en immeuble collectif). Les systèmes de chauffage nécessitant des infrastructures en réseau verraient leur nombre augmenter notamment les segments fonctionnant au gaz (alors qu'il avoisinerait les mêmes parts de marché que ce que suggère la tendance pour le chauffage urbain).

En énergie primaire (sachant que la progression des consommations de chauffage en énergie finale serait, selon une projection tendancielle, de l'ordre de 30 %), la forte pénétration du chauffage électrique dans le stock existant en 2006 et dans le logement neuf construit dans la période engendrerait un alourdissement supplémentaire de la facture énergétique de près de 41% (de 477 à 672 TWh/an). Cet alourdissement se retrouve pour l'ECS à raison de 43 % de croissance (de 55,3 à 79,2 TWh/an). Grâce à une contribution plus ample du neuf, le scénario d'éloignement conduirait à une progression des consommations en énergie primaire de l'ordre de 37 % pour le chauffage (652 TWh/an) et de 44 % pour l'ECS (77 TWh/an) ; le différentiel avec les consommations d'ECS des projections tendancielle s'expliquant par le poids de la maison individuelle dans

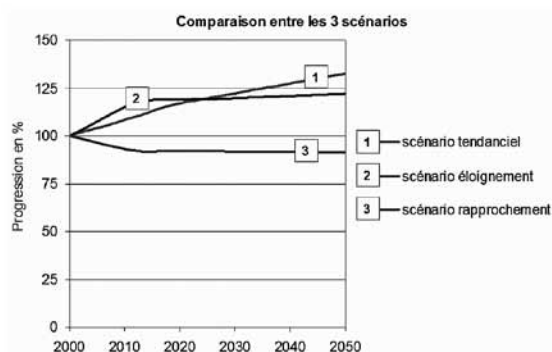


Fig 6. Evolution des consommations d'énergie finale du chauffage et de l'ECS à l'horizon 2050 en base 100 selon les trois scénarios

Consommations finales (TWh/an)	Situation en 2000	Situation en 2050 selon tendance	Situation en 2050 selon éloignement	Situation en 2050 selon rapprochement
chauffage	387	515	473	340
ECS	43	57	53	53
Total	431	573	527	393

Tableau 1. Effets énergétiques des trois scénarios pour le secteur de l'habitat

le stock de 2050 et par l'importance de sa surface habitable, élément accentuant les besoins en eau.

Les bénéfices du rapprochement de l'emploi et de l'habitat seraient, en énergie primaire, totalement perdus à cause de l'électrification massive des logements.

La mobilité domicile-travail en vp : bilan énergétique et émissions de CO₂

Les scénarios d'évolution de la performance énergétique et émissive de CO₂ du parc vp

A l'image de l'exercice réalisé pour le secteur de l'habitat, il est indispensable, avant de déterminer les effets énergétiques de la mobilité domicile-travail en voiture particulière, de préciser l'ampleur des gains apportés par l'amélioration technologique des véhicules. A l'instar de celle que l'on peut envisager pour les générateurs ou les émetteurs dans le secteur du bâtiment, l'élaboration de scénarios d'évolution du rendement moteur à l'échelle du parc automobile est un exercice qui demeure délicat vu les nombreuses modifications des structures du marché et la volatilité des stratégies des constructeurs et des choix industriels adoptés en périodes de conjoncture économique. Le modèle COPERT [6] fournit néanmoins un tel scénario.

Ce modèle propose une évolution structurelle du parc automobile et repose sur une prospective à 2020 prévoyant une amélioration globale des émissions unitaires de CO₂ de 1995 jusqu'à 2005 puis une dégradation à terme. Cette projection résulte du changement macroscopique dans la composition du stock automobile et des efforts microscopiques réalisés à l'échelle des véhicules. L'extrapolation linéaire de cette progression à l'horizon 2050 mènerait alors à une augmentation des émissions unitaires par rapport à 1995 de l'ordre de 7%, ce qu'il paraît difficile d'admettre à la lumière des tendances les plus récentes.

On a donc préféré ici, même si cela semble assez contestable car ne relevant pas de d'observations

D'un gain de 13% en énergie finale, on passerait à une stabilisation des consommations en énergie primaire. L'addition des consommations en ECS engendrerait même une inversion de tendance avec une croissance totale de l'ordre de 2 %.

directes, adopter des scénarios contrastés (volontaristes ou au fil de l'eau). Le premier scénario maintient ainsi jusqu'à 2050 les niveaux actuels d'émissions soit 175 g CO₂/km (S175g). Le second envisage une mise sur le marché dès 2012 de véhicules neufs dont les émissions ne dépassent pas en moyenne 120 g CO₂/km. La pénétration de ce marché permettrait alors d'atteindre ce palier entre 2020 et 2030, palier se prolongeant jusqu'en 2050 (S120g) ou épousant une pente non linéaire lui permettant d'atteindre à cet horizon 105 g CO₂/km. Deux derniers scénarios volontaristes, peu probables, envisagent, d'une part, un niveau d'émission de 70 g CO₂/km (S70g), d'autre part, un facteur 4 réalisé directement sur les véhicules (SF4véhicule), soit une émission unitaire de 44 g CO₂/km. Ces deux derniers scénarios permettent de mettre en évidence le poids des km.vp parcourus par rapport aux efforts techniques réalisés sur les rendements moteurs.

Les consommations d'énergie et les émissions de CO₂ induites par la mobilité domicile-travail selon les scénarios de localisation des ménages

Calculées sur la base d'un PCI moyen du carburant de 43 MJ/kg et un temps de travail de 196 jours par an, les consommations annuelles induites par la mobilité domicile-travail avoisineraient les 50 TWh/an en 2000 (Fig. 7). Cette mobilité, proche de 65,3 milliards de km parcourus, devrait croître à l'horizon 2050 (à partir des seuls effets démographiques et en considérant les distances moyennes égales à celles de 2006), de l'ordre de 22 % soit 77,8 milliards de km pour une consommation de 61,5 TWh/an. Un éloignement à l'emploi de plus de dix

kilomètres doublerait cette progression en portant cette dernière à 44 % par rapport à 2000 (soit 72,5TWh/an). Le rapprochement entre l'emploi et l'habitat permettrait de ramener les distances parcourues à un peu plus de cinq milliards de km soit une réduction des consommations par rapport à 2000 d'environ 20 %.

Les efforts techniques concernant les émissions des véhicules suffiront-ils à contrebalancer les tendances de croissance des deux premiers scénarios ? Permettront-ils d'atteindre le facteur 4 pour la mobilité

facteur 4 à l'échelle des véhicules correspondrait à des facteurs 3,25, 2,75 et 5 pour, respectivement, les projections tendancielle, l'éloignement et le rapprochement domicile-travail.

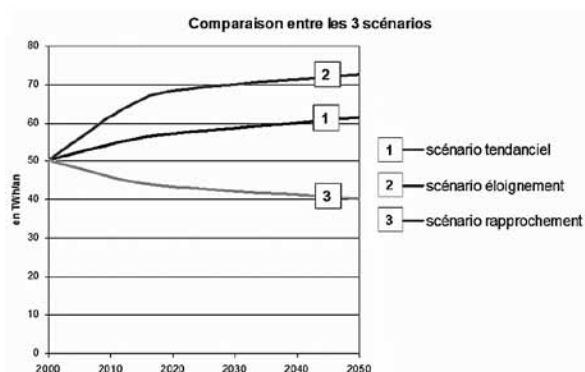


Fig 7. Consommations en énergie finale (en TWh/an) des déplacements domicile-travail en vp à l'horizon 2050 selon des scénarios éloignement au lieu d'emploi

domicile-travail ? Un parc automobile émettant en moyenne 120 g CO₂/km permettrait, à l'horizon 2050, de compenser les effets d'éloignement à l'emploi et réduirait de 17% ceux induits par les croissances tendancielle. En diminuant les émissions de l'ordre de 20 %, le rapprochement à moins de dix kilomètres de l'emploi, sans effort sur le facteur d'émissions du parc automobile, serait ainsi plus efficace que la généralisation du véhicule à 120 g CO₂/km. A partir d'un tel niveau d'émission, le rapprochement de l'habitat et de l'emploi permettrait quant à lui d'atteindre un facteur 2. Ce facteur serait atteint pour les scénarios tendanciels et d'éloignement qu'à partir d'une pénétration parfaite du véhicule à 70 g CO₂/km, il serait quasiment égal à 4 avec un rapprochement à l'emploi à des distances inférieures à dix kilomètres. Enfin le

Occupation du sol et artificialisation

Les projections d'artificialisation du sol à l'horizon 2050 à partir d'une rétrospective 1990-2006

Le modèle empirique développé dans ce travail montre que les modalités d'urbanisation, en termes d'occupation du sol, sont fortement corrélées à la structure du parc de logements. Il est intéressant, néanmoins, d'examiner les développements de la tache urbaine à venir sans tenir compte de ces corrélations afin, dans un second temps, d'en apprécier la pertinence dans une meilleure mesure. Il s'agit donc ici de construire un scénario d'occupation du sol à l'aune d'un examen exclusif de la dynamique des surfaces continues, discontinues et artificialisées.

Ce scénario simule une croissance linéaire en se fondant sur le prolongement de deux tendances relatives à l'occupation du sol bien distinctes : d'une part, celle observée entre 2000 et 2006, d'autre part, celle correspondant au développement entre 1990 et 2006 (soit quinze ans d'intervalle). Dans les deux cas, le territoire passerait de 2,5 millions d'ha (en 1990) de sol artificialisé à 3,5 millions d'ha en 2050, soit une augmentation de l'étalement urbain de 40% par rapport à 1990 (30% par rapport à 2000 et 26% par rapport à 2006) : entre 812 000 ha et un million d'hectares de surface agricole et naturel seraient ainsi rognés. La part de tissus discontinus demeurerait inchangée (environ 75 % du sol artificialisé) alors que celle du tissu continu décroîtrait au point de devenir encore plus négligeable.

L'artificialisation du sol selon les scénarios de localisation des ménages

Ces résultats se retrouvent dans le scénario de référence lorsqu'on réintègre le lien avec le parc de logements. Rappelons que ce scénario a été construit à partir d'une extrapolation de la dynamique du parc observée entre 1999 et 2006 et sur la base d'un rythme de croissance (ou de décroissance) à l'échelle communale constant (en valeur absolue). Ce rythme poursuit donc la tendance de localisation de l'habitat observé dans la période en intégrant les divers processus de migration résidentielle.

Sur la base d'un tel calcul, l'artificialisation du sol atteindrait la même étendue que celle obtenue à partir du prolongement linéaire vu plus haut, à savoir un peu plus de 3,5 millions d'hectares (plus de 800 000 hectares supplémentaires par rapport à 2006). Cette convergence entre les deux scénarios s'explique par la constance relative des parts qu'occuperaient les maisons individuelles et les immeubles collectifs dans le stock de 2000 à 2050.

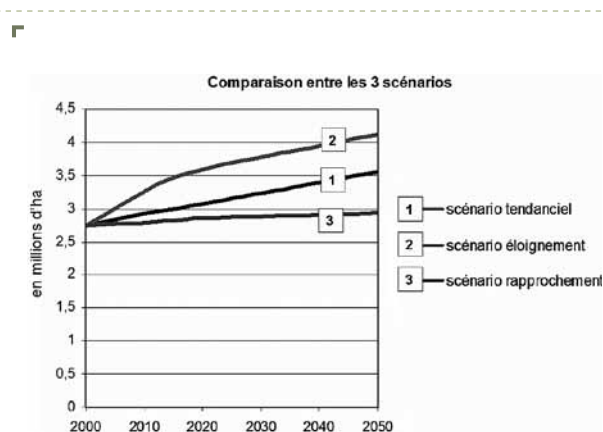


Fig 8. Évolutions de la surface artificialisée totale en millions d'ha à l'horizon 2050 selon les scénarios tendanciel, d'éloignement et de rapprochement à l'emploi.

Conclusion

Que peut-on retenir de ces trois scénarios de localisation ? Essentiellement trois points.

- 1 Quel que soit le scénario, on constate que les dynamiques en jeu sont orientées vers un fort développement de la maison individuelle. Comme si celle-ci était moins sensible, en comparaison à l'immeuble collectif, aux choix de localisation de l'habitat et de l'emploi. Ce constat résulte principalement de la dynamique extrêmement vigoureuse du secteur de l'habitat individuel observé entre 1999 et 2006 et d'une modélisation qui ne remet pas en cause les mouvements à l'intérieur du stock de logements pendant cette période. On retrouve cette propriété dans l'évolution des parts de marché du chauffage électrique : peu contraint par la typologie du logement et sa localisation, ce système de chauffage a investi avec vigueur le stock au point d'assurer sa croissance pour tous les scénarios. Les scénarios de rapprochement de l'habitat et de l'emploi peuvent conduire à des réductions de consommations d'énergie encore plus importantes par la seule structure du parc à condition que l'on découple la question de la typologie des logements (et de leur système de chauffage) de celle de leur localisation dans le territoire. Or il n'est envisageable de considérer une rupture entre structure de parc et localisation et de l'emploi que si l'on remet en cause les liens empiriques que nous avons mis en évidence dans notre modèle.
- 2 En outre, les effets de structure du stock n'arrivent pas, malgré des scénarios exagérant la construction de logements neufs performants, à compenser des tendances haussières dues à l'augmentation numérique des logements, des surfaces habitables et des distances parcourues lors des navettes domicile-travail. Au mieux, une généralisation de l'emploi à moins de dix kilomètres permettrait-elle dans l'intervalle 2000-2050 de stabiliser les consommations à partir de 2030 - après un palier à 440 TWh/an aux alentours de 2020 - grâce à une part du logement collectif significative et une réduction drastique des besoins de chauffage obtenue à partir des exigences BBC. Mais cette stabilisation ne serait pérenne que si la pression démographique était suspendue durablement. En d'autres termes, parvenir à des trajectoires baissières des consommations d'énergie à partir du seul jeu de localisation de l'habitat et de l'emploi, ne serait possible qu'à partir d'un rapprochement itératif et de plus en plus exigeant de ces derniers. Or, c'est exactement l'inverse qui se produit entre 1999 et 2006. En augmentant, les distances moyennes aggravent la facture énergétique de la mobilité quotidienne plus que ne le fait la croissance numérique des flux. La technologie à l'échelle du véhicule permettrait au mieux d'annuler les effets de croissance des flux et ne pourrait inverser les effets de croissance résultant de l'augmentation des distances à l'emploi. Le secteur de l'habitat pourrait-il jouer un rôle de compensation ? Nous avons montré, même si nous n'avons pas cherché à déterminer la part d'énergie électrique produite par les bâtiments à partir de 2020, que la réponse à cette question est clairement négative lorsqu'on se limite à un jeu de localisation des logements. Et si l'on considère les efforts de réhabilitations thermiques du parc existant ? Là encore la réponse sera négative. Nous avons montré dans d'autres recherches [7] que les efforts techniques à l'échelle du bâtiment permettraient au mieux de réduire les consommations du secteur de l'habitat et d'atteindre au plus juste le facteur 4 sans pour autant disposer de gisements suffisants pour satisfaire les besoins de postes supplémentaires.

3 Enfin, les effets structurels des deux premiers points se retrouvent dans l'évolution de l'artificialisation du sol. Tous les scénarios montrent que l'urbanisation continuera d'absorber les surfaces agricoles périphériques par extension continue ou par mitage (question non examinée ici mais très défavorable à la maison individuelle). Seule l'ampleur de cette dilution de la surface urbanisée diffère d'un scénario à un autre. Le surcroît de surface artificialisée est dû à la dynamique du parc favorable, comme nous l'avons vu, à la maison individuelle. Comment réduire alors cette expansion ? La seule réponse que l'on puisse donner dans le cadre de cette recherche, serait, à l'image de ce que nous évoquions dans le premier point, de rompre la relation empirique qui lie le mode d'artificialisation du sol avec la structure du parc de logements. En effet, les simulations reposent sur les modes d'urbanisation en vigueur entre 1990 et 2006. Or ces derniers peuvent être remis en cause et, à l'image de l'amélioration des rendements énergétiques des systèmes de chauffage ou des véhicules particuliers, peuvent faire l'objet de progrès en termes de « rendement d'occupation du sol ».

Références

1. MAÍZIA M., CEZE C., RIMMEL L., JOLITON D., BERGE S., MENARD R., VIEJO GARCIA P., LEROLLES H., TELLER J., *Les gisements du développement urbain : Analyse quantitative à l'horizon 2050 des consommations énergétiques et des émissions de CO₂ des tissus urbains*, rapport de recherche, PUCA, Paris (2010)
2. INSTITUT FRANÇAIS DE L'ENVIRONNEMENT, *CORINE land cover France - Fiches techniques* (2006)
3. JACQUOT A., *Projection de ménages pour la France métropolitaine à l'horizon 2030 : Méthode et résultats*, ISEE, Direction des Statistiques Démographiques et Sociales
4. CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BÂTIMENT, *SOLO : méthode de calcul des performances thermiques des installations solaires de production d'eau chaude sanitaire*, CSTB (1992)
5. LAURENT M.-H., BARTHEL L., TRAISNEL J.-P., NIBEL S., MAÍZIA M. ET. AL, *Le système énergétique des bâtiments résidentiels de demain*, Rapport final version 1 (2006)
6. NTZIACHRISTOS L., SAMARAS Z., *COPERT III Computer programme to calculate emissions from road transport, Methodology and emission factors (Version 2.1)*, Technical report No 49, ETC/AEM, European Environment Agency, (2000)
7. MAÍZIA M., *Prospective des consommations d'énergie et des émissions de CO₂ dans l'habitat : les gisements offerts par les pompes à chaleur*, Cahier du CLIP, vol. 18, Paris (2007)

Aménagement territorial et Plans Climat Energie Territoriaux : Quels nouveaux défis ?

Land-Use and Territorial Climate Energy Plans : What New Challenges ?

A. Grenier¹

La loi Grenelle 2 portant engagement national pour l'environnement en France, publiée le 13 Juillet 2010, généralise l'élaboration des Plans Climat Energie Territoriaux en les rendant obligatoires pour toute collectivité territoriale de plus de 50 000 habitants. L'importance de l'aménagement et de la gestion des territoires dans le défi climatique est soulignée depuis plus de dix ans dans les documents cadres de la politique nationale. Elle oriente profondément la réforme en cours des documents de planification urbanistique. Pourtant, il n'est pas exigé de lien fort entre ces deux catégories de documents, alors que des indicateurs convergents sont attendus. La pratique de terrain saura-t-elle mettre l'intelligence au service de la cohérence indispensable à l'efficacité de ces outils de planification territoriale ? Cet article vise à pointer les défis à relever pour leurs auteurs.

The Grenelle 2 Law on national environmental commitment in France, published on 13 July 2010, generalises the development of the Territorial Climate Energy Plans by making them compulsory for any territorial community with more than 50,000 inhabitants. The importance of territorial development and management in the climate-change challenge has been stressed for more than ten years in the national policy framework documents. The Law profoundly orients the on-going reform of the town-planning documents. However, no strong link between these two document categories is required, even though convergent indicators are expected. Will land-use be able to provide the intelligence for the coherency that is essential for these territorial planning tools' efficacy ? This article seeks to check off the challenges to be taken up for their authors.

Mots-clé : PCET, documents d'urbanisme, défis énergétiques et environnementaux.

Keywords : PCET, town-planning documents, energy and environmental challenges.

¹ Service Organisations Urbaines, ADEME Centre de Sophia Antipolis, 500, route des Lucioles, 06560 Valbonne, France
anne.grenier@ademe.fr

Militante du développement durable, la France en a fait une stratégie politique pour une société écologique. Dès 2003, elle a cherché à l'imposer à tous les acteurs civiques en adoptant la Stratégie Nationale de Développement Durable SNDD, précisée un an plus tard dans le Plan Climat 2004–2012. Ces documents reconnaissent la responsabilité des acteurs territoriaux et de l'aménagement territorial dans les émissions de gaz à effet de serre GES, indexant notamment l'étalement urbain et le gaspillage spatial. Ils misent sur la planification pour contenir la tâche urbaine et répondre aux enjeux énergétiques et environnementaux. La révision de 2006 du Plan Climat National prescrit l'élaboration de Plans Climat Territoriaux PCT, définis comme des cadres d'engagements volontaires et contextualisés pour les collectivités. Ces PCT doivent fédérer et mettre en cohérence les politiques sectorielles locales autour de deux grands objectifs : l'atténuation et l'adaptation au changement climatique.

Issue de la vaste consultation associant l'Etat, les collectivités locales, les ONG, les entreprises ou professionnels et la société civile, *la loi de programme de mise en oeuvre des engagements du Grenelle de l'environnement*², dite Grenelle 1, affirme la responsabilité des collectivités locales en matière d'urbanisme notamment dans la lutte contre le changement climatique et l'adaptation à ce changement et propose d'imposer l'élaboration, d'ici le 31 décembre 2012, de Plans Climat Energie Territoriaux PCET. Cette loi annonce aussi une réforme des documents d'urbanisme qui devront poursuivre des objectifs climatiques (atténuation et adaptation), énergétiques et environnementaux.

Si l'urbanisme et la planification urbaine deviennent des instruments au service de l'efficacité énergétique et des défis climatiques et environnementaux, la territorialisation locale de ces enjeux ne peut relever que de décisions législatives. Un regard sur les quelques 200 PCT entrepris et leur articulation avec les documents d'urbanisme mais également une lecture critique des textes de loi permettront de repérer les défis locaux auxquels doivent faire face les collectivités.



Anne Grenier — PHOTO F. DOR

2 Loi n° 2009-967 du 3 août 2009 de programmation relative à la mise en oeuvre du Grenelle de l'environnement

Premier PCT et documents d'urbanisme : 200 engagements soulignant l'étroitesse de leurs liens

Les premiers PCET et leurs articulations avec les documents d'urbanisme

Selon l'actualisation 2006 du Plan Climat 2004-2012, la première génération de Plans climat territoriaux se définit comme des documents volontaires visant à mettre en œuvre un programme d'actions pour améliorer l'efficacité énergétique et réduire les émissions de gaz à effet de serre. Ils poursuivent ouvertement deux finalités : l'atténuation du réchauffement et l'adaptation des territoires aux changements climatiques. Ces plans doivent permettre de connaître les émissions du territoire liées à tout type d'activité et leurs évolutions, de fixer des objectifs de réduction et de mettre en œuvre des mesures concrètes. Ces bilans prennent en compte tant les émissions directes (générées sur le site) que les émissions indirectes, c'est-à-dire générées par des activités mobilisées hors du site ou du territoire mais nécessaires à son fonctionnement (consommations d'électricité non auto-produite, approvisionnement en matières premières, transport de marchandises et de personnes...).

Ces plans peuvent être élaborés à différentes échelles par tout type de collectivités territoriales : région, département, commune et intercommunalité, syndicat mixte, EPCI. Ils visent avant tout à faire des projets de territoire, quelles que soient leurs formes, des stratégies d'amélioration continue en imposant un suivi d'indicateurs climatiques.

Antérieure au Plan climat national et plus stratégique, la SNDD a déjà fait de l'organisation et de la gestion des territoires le premier de ses enjeux. L'étalement urbain y est un objectif prioritaire dans « *la prévention de la ségrégation sociale, la préservation des ressources naturelles notamment du sol, la gestion des risques, la prévention des nuisances et la lutte contre*

les changements climatiques ». Sa maîtrise « *passé par une meilleure articulation avec la maîtrise des déplacements. Face à l'accroissement actuel, conscient ou inconscient, de l'étalement urbain, il s'agit de rendre la ville durable, désirable, en améliorant la vie urbaine et son attractivité* »³. Pour se faire, la SNDD privilégie l'élaboration d'Agenda 21 locaux.

Ainsi, la réalisation des Plans Climats Territoriaux, plus largement l'application de la SNDD et du Plan Climat doivent renouveler l'élaboration des documents de planification en renforçant la prise en compte de leurs impacts environnementaux. Pour autant, Jean-Marc OFFNER souligne, dans un ouvrage revenant sur deux générations de Plans de Placements Urbains⁴ PDU, la dilution de cette thématique dans les PDU de la génération de la Loi sur l'Air et l'Utilisation Rationnelle de l'Energie alors même que cette loi est la traduction d'une directive européenne sur l'environnement visant spécifiquement l'amélioration de la qualité de l'air. Si la loi Solidarité et renouvellement urbain dite SRU, réformant les documents d'urbanisme en décembre 2000, impose l'enjeu de développement durable à tout document d'urbanisme, elle n'affronte pas directement celui de réduction des consommations énergétiques, encore moins celui de prévention ou d'atténuation du réchauffement climatique. Force est donc de reconnaître que ces problématiques apparaissent très peu dans les Schémas de Cohérence Territoriale SCoT et les Plans Locaux d'Urbanisme PLU si ce n'est inconsciemment au travers de mesures visant la restriction de la circulation automobile ou la prévention des risques naturels.

Les premiers guides publiés pour l'élaboration des PCT font pourtant de ces documents d'urbanisme les outils stratégiques et opérationnels permettant, par la coordination de la planification spatiale des déplace-

3 « SNDD Programme d'action », chapitre « Territoire », paragraphe I.A.2 « La maîtrise de l'étalement urbain »

4 Les plans de déplacements urbains ont été définis en France en 1982 par la Loi d'Orientation sur les transports Intérieurs, dite LOTI, et ont été rendus obligatoires pour les agglomérations de plus de 200 000 habitants par la Loi sur l'Air et l'Utilisation Rationnelle de l'Energie dit LAURE en 1996. J.-M. OFFNER, Les plans de déplacements urbains, coll. le point sur, Predit, La documentation Française, février 2006

ments (dans les SCoT, les PDU et les PLU), des localisations résidentielles (SCoT, Plans locaux de l'habitat PLH, PLU), du développement économique (SCoT, Schéma de développement économique, PLU), de planifier une organisation urbaine plus respectueuse du climat et de l'environnement et intégrant au premier chef la question énergétique.

Retour sur les pratiques : divers porteurs, divers enjeux

Juste avant l'adoption de la loi portant engagement national pour l'environnement, dite Grenelle 2^e, imposant à toutes les collectivités de plus de 50 000 habitants de mettre en œuvre un Plan Climat Energie Territorial PCET avant 2012, quelques 200 territoires se sont déjà engagés dans des démarches de PCT. Tout le panel possible des acteurs territoriaux est représenté parmi les porteurs de projet : 15 régions, 19 départements, 62 intercommunalités, 67 territoires de projets (Parcs Natu-

rels Régionaux, Pays, SCoT), trente deux communes et cinq syndicats mixtes ou établissement public de développement territorial, comme l'illustre la carte

Ces collectivités se définissent en même temps comme autorités consommatrices, productrices, organisatrices, aménageuses et concédantes. A ces divers titres, on estime qu'elles sont directement responsables de 12 % des émissions de GES et qu'elles peuvent agir directement sur plus de 50 % d'entre elles, soit en agissant sur leurs compétences, la gestion de leurs patrimoines et de leurs services (délégués ou non) et leurs comportements directs (déplacements, achats, usages des équipements et locaux...), soit en orientant leurs politiques de constructions, de déplacements, d'urbanisme, de déchets, de développement économique... usant aussi de leur pouvoir d'influence sur leurs administrés (entreprises ou ménages). Aussi deux catégories de PCT se distinguent : ceux se centrant sur la collectivité comme « entreprise », et ceux



<p>PCT de la commune de Bourges (volet spécifique de l'Agenda 21) 70 000 Hbts, superficies 68 km²</p>	<p>PCT de la commune de Nanterre (premier pas de l'Agenda 21) 87 000 Hbts, superficies 1.219 km²</p>
 <p>Secteurs d'intervention</p> <ul style="list-style-type: none"> Énergie Énergie durable Urbanisme aménagement Transport Agriculture forêts, espaces verts Énergie <p>Facteurs de réussite</p> <ul style="list-style-type: none"> Mise en place de la Direction de l'Écologie et du Développement Durable rattachée à la Direction Générale des Services Techniques et dirigée par l'ancien directeur général des Services Techniques. Embauche d'un chargé de mission "Agenda 21" et d'un ingénieur en charge des économies d'énergie. <p>Points de blocage</p> <ul style="list-style-type: none"> Difficulté de quantifier de manière globale l'impact des décisions prises. Difficulté de mobiliser en interne les cadres et donc d'obtenir les données nécessaires pour renseigner le tableau de bord. <p>Piste choisie pour l'amélioration</p> <ul style="list-style-type: none"> Une réforme de la comptabilité publique est en cours. 	 <p>Secteurs d'intervention</p> <ul style="list-style-type: none"> Énergie Énergie durable Urbanisme aménagement Transport Agriculture forêts, espaces verts Énergie <p>Facteurs de réussite</p> <ul style="list-style-type: none"> Bonne implication des directeurs et des cadres. Forte sensibilisation par les médias. <p>Point de blocage</p> <ul style="list-style-type: none"> Certaines difficultés de mobilisation des partenaires en interne et en externe. <p>Piste choisie pour l'amélioration</p> <ul style="list-style-type: none"> Il est prévu de développer la sensibilisation en interne et en externe.

Fig 1. Exemples de secteurs d'intervention utilisés dans les PCT

5 Loi n° 2010-788 du 12 Juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement

la considérant comme « territoire ». Les secteurs d'actions possibles dans ces deux catégories diffèrent alors profondément comme en témoignent les exemples des communes de Bourges et de Nanterre engagées avant 2007, date du Grenelle.

D'une façon générale et selon un regard rapide sur les quelques 200 PCT initiés avant juillet 2010, les bilans d'émissions élaborés pour définir les plans d'actions mettent en exergue les secteurs d'émissions que sont l'agriculture, le transport, le tourisme. Or, ces secteurs ont des composantes territoriales majeures d'où l'importance de l'urbanisme comme levier d'action fondamental, pérenne et opérationnel. De fait, les documents d'urbanisme apparaissent pour beaucoup comme les principaux outils de mise en œuvre de ces

PCT. D'aucuns en arrivent même à dire qu'un bon PCT est un élément constitutif d'un projet de territoire quelle que soit sa forme (Agenda 21, Charte de Pays, SCoT, pour ne citer que les principaux). Pour autant, les liens explicitement établis sont rares dans les documents d'urbanisme.

Les facteurs de réussite qui ont pu être soulignés relèvent essentiellement d'éléments de gouvernance (jeu des acteurs, outils de suivi et mises en œuvre mobilisés) mais les points de blocages relèvent également des difficultés de concertation ou de collecte et de suivi des données. Il paraît souvent difficile aux acteurs territoriaux de trouver les bonnes synergies et les bonnes articulations entre tous les outils de planifications territoriales, thématiques, sectoriels ou globaux,

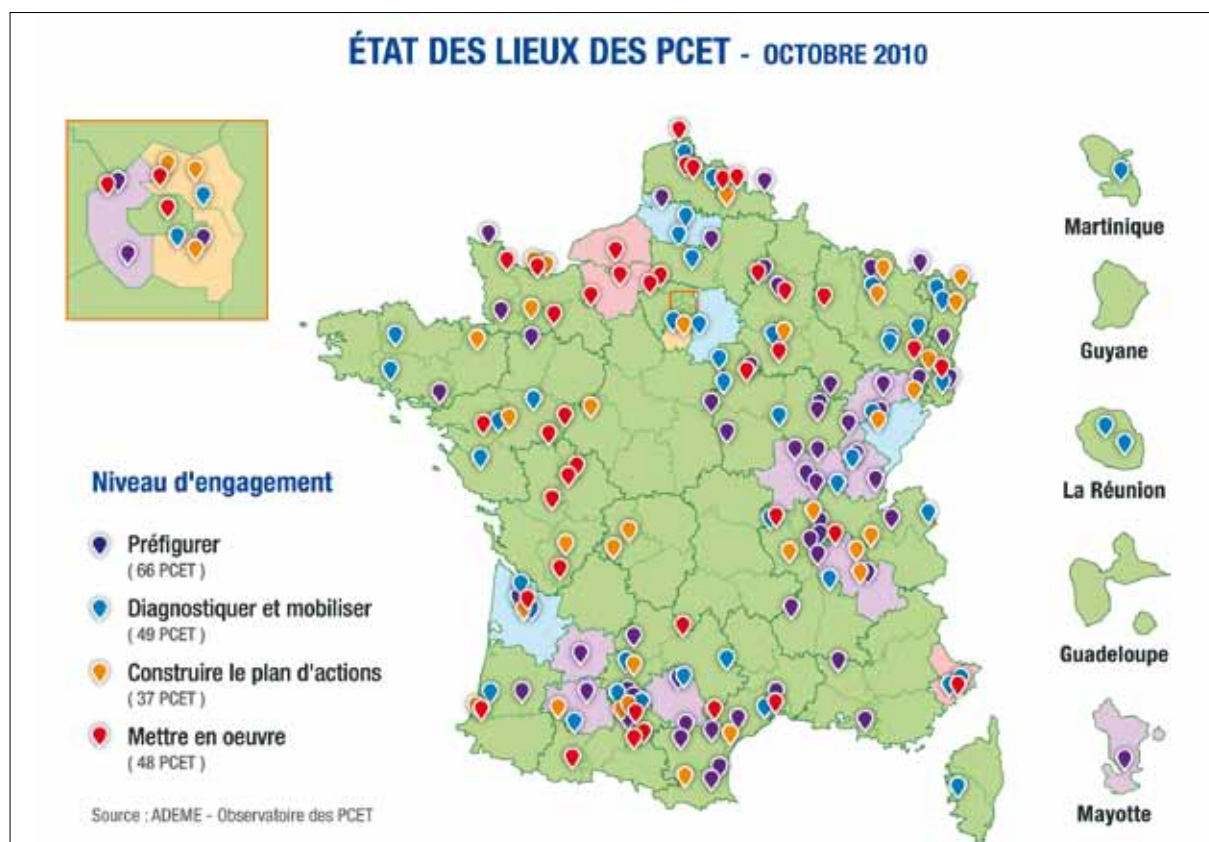


Fig 2. Répartition des 200 démarches de PCET en cours en France selon leur état d'avancement

d'autant plus que ceux-ci relèvent d'acteurs singuliers et couvrent des périmètres divergents, certains étant obligatoires, d'autres volontaires comme les PCT. Derrière les plaidoyers et les bonnes intentions, les passages aux actes sont donc plus délicats, expliquant la divergence entre le nombre de PCT engagés et ceux réellement adoptés.

En effet, la méthodologie préconisée pour l'élaboration de ces documents identifie quatre phases d'avancement : préfigurer, diagnostiquer et mobiliser, construire le plan d'action, mettre en œuvre. Sur les 200 PCT ou PECT initiés à ce jour, 66 en sont à la première étape, 49 à la seconde, 37 à la troisième et 48 approuvés et en cours de mises en œuvre.

Il ressort aussi de ces premières expériences que la question énergétique est plus facilement appropriée que celle du climat, les problématiques de l'adaptation et de la vulnérabilité des territoires étant trop peu traitées. Il leur est souvent reproché, à dire d'experts,

une appropriation rapide de type top-down d'enjeux nationaux, sans ancrages solides sur les bilans GES territoriaux, alors qu'ils devraient reposer plutôt sur la construction réellement contextualisée d'un plan d'actions. Cette critique doit être modulée par la centralisation des données climatiques par Météo France, le difficile accès résultant à des données suffisamment désagrégées et à des simulations climatiques localisées. Cela apparaît pourtant comme un point de départ essentiel.

Pour autant, la généralisation de Plans Climats Energie Territoriaux a été réclamée lors de la vaste consultation nationale dénommée Grenelle de l'Environnement, de même d'ailleurs que la réforme et la simplification des documents d'urbanisme. Fort de ces expériences, il convient de regarder comment se redéfinit cette nouvelle génération de PCET et quels liens sont exigés entre les documents de planification urbanistique, énergétique et climatique.

La généralisation des PCET et leurs liens avec la gestion des territoires

Les Plans Climat Energie Territoriaux sont rendus obligatoires pour toutes les collectivités de plus de 50 000 habitants

La loi de programme de mise en œuvre des engagements du Grenelle de l'environnement⁶, dite Grenelle 1, incite d'abord fortement toutes les collectivités territoriales de plus de 50 000 habitants à élaborer des Plans Climat Energie Territoriaux « en cohérence avec les documents d'urbanisme ». Cet article 7 est le 1er du chapitre II « Urbanisme », ce qui souligne l'intérêt porté aux PCET de nature territoriale. Ce même article demande que les documents d'urbanisme soient révisés dans un délai d'un an à compter de la publication de la loi pour intégrer dans leurs enjeux obligatoires la maîtrise des consommations énergétiques et des émissions de gaz à effet de serre. Dans l'article sui-

vant, le législateur souligne que l'action des collectivités en matière d'urbanisme « contribue à la lutte contre le changement climatique et à l'adaptation à ce changement ». Le défi climatique s'impose donc à tous les territoires de projet : d'une part par leurs structures porteuses - le seuil des 50 000 habitants concernant toutes les régions, tous les départements (y compris les DOM), la majorité des communautés de communes ainsi que 120 de nos 36 000 communes -, d'autre part par les documents de planification territoriale en s'imposant aux objectifs des SCoT et des PLU.

En même temps, l'accent est mis sur les objectifs de préservation des espaces agricoles, de réduction de l'étalement urbain, de densification, de biodiversité et à un autre niveau d'harmonisation et de cohérence des différents documents de planification territoriale.

6 Loi n° 2009-967 du 3 août 2009 de programmation relative à la mise en œuvre du Grenelle de l'environnement

Pour autant, la loi Grenelle 1 n'introduit qu'un lien faible entre documents de planification urbanistique et documents de planification climatique, ces derniers devant être « *en cohérence* » avec les premiers. En même temps, au nom du principe de non subsidiarité entre collectivités territoriales, elle n'évoque aucun lien entre PCET d'une échelle de territoire et d'une autre, soit entre PCET régionaux, départementaux, intercommunaux, communaux.

La loi portant engagement national pour l'environnement, dite loi Grenelle 2, quant à elle, a pour objet de définir les modalités de mise en œuvre et d'application des orientations arrêtées dans la loi Grenelle 1.

En matière de PCET, elle fait des collectivités territoriales les chevilles ouvrières de la mise en œuvre du Grenelle par l'imposition et la généralisation des PCET avant le 31 décembre 2012 mais également, par l'obligation d'élaboration de bilan de gaz à effet serre en amont de l'élaboration de ces plans et de rapport développement durable en amont du vote des budgets territoriaux ! L'Etat est également soumis à l'élaboration de bilan de GES de même que les personnes morales employant plus de 250 salariés.

Les PCET doivent toujours définir des objectifs « *stratégiques et opérationnels pour atténuer le changement climatique et s'y adapter* », un programme d'action pour améliorer l'efficacité énergétique et réduire les émissions de GES des activités, un dispositif de suivi et d'évaluation des résultats. Ceci suppose donc la mise en place d'indicateurs et de tableaux de bords de suivi.

Les PCET doivent être compatibles avec les Schémas Régionaux Climat Air Energie SRCAE qui réforment les anciens schémas régionaux. Aucun autre lien de compatibilité n'est imposé, ni de subsidiarité ou de cohérence entre les échelles territoriales. En même temps,

les documents de planification doivent tenir compte du PCET « *quand il existe* ». Ceci prescrit un lien encore plus faible et inversé par rapport à la loi Grenelle 1.

La réforme amorcée des documents d'urbanisme oblige à la prise en compte du triple défi énergétique, climatique et environnemental

La réforme engagée des documents d'urbanisme a pour ambition première d'asservir ces documents de planification aux engagements nationaux du Facteur 4⁷ et des 3 x 20 % européens. Plusieurs mesures concourent à favoriser le développement des énergies renouvelables ou à limiter les consommations énergétiques, telle l'impossibilité de refuser un permis de construire au motif qu'il utilise des énergies ou matériaux renouvelables (exception faite dans les secteurs sauvegardés ou périmètre de protection des monuments historiques), la majoration de la bonification de COS à 30 % ou la définition d'une nouvelle pollution à combattre, la pollution lumineuse, par exemple.

La principale demeure toutefois la révision de l'article L.110 qui impose une réflexion globale et « *harmonieuse* » de l'utilisation des sols (cf. ci-dessous) et quatre nouveaux objectifs à tout document d'urbanisme (DTADD⁸, SCoT, PLU) : la restriction des émissions de GES, la réduction des consommations énergétiques, la lutte contre l'étalement urbain et la diminution des déplacements contraints. Ces objectifs sont déclinés aux deux échelles des SCoT et des PLU comme en rend compte le tableau ci-dessous.

D'un point de vue méthodologique, ces objectifs portent une réforme profonde en obligeant à la fixation d'objectifs quantifiés de consommation spatiale et de performance énergétique. Cela pose encore la question des indicateurs à mettre en place et de leur suivi. D'autant que cette loi remet en cause les indicateurs usuels des urbanistes, proposant de substituer la no-

7 Le Facteur 4 est un engagement national introduit par la SNDD préconisant une réduction par un facteur de 4 voire 5 d'ici 2050 les émissions de gaz à effets de serre des pays développés pour ne pas entraver les efforts de développement des pays du Sud. Les 3 x 20 % européens est un engagement de la commission européenne de réduire ses émissions de GES de 20 %, ses consommations énergétiques de 20 % également et d'avoir dans son mixte énergétique 20 % d'énergie renouvelable.

8 Directive Territoriale d'Aménagement et de Développement Durable du Territoire : ces documents réforment, portés directement par l'Etat réforme les anciennes Directive Territorial d'Aménagement qui se présentaient comme des mesures de gestion territoriales un peu d'exception confiant à l'Etat la réflexion et l'aménagement de grandes infrastructures ou équipements. Cet article ne s'attardera pas sur ces documents pour se centrer sur ceux de compétences territoriales locales SCoT et PLU surtout.

Enjeux	SCOT (Art. 9)	PLU (art. 10)
Lutter contre l'étalement urbain	Fixation d'objectifs chiffrés Définition de secteur à densité minimale à proximité des transports en commun	Imposition d'une densité minimale dans les secteurs desservis par les TC La justification de la consommation d'espace dans le rapport de présentation et la définition d'objectifs de modération dans les orientations d'aménagement et de programmation
Réduire les consommations énergétiques	Conditionnement de l'ouverture à l'urbanisation à des performances énergétiques	La fixation de performances énergétiques et environnementales
Réduire les déplacements contraints*	Définition de secteur à densité minimale à proximité des transports en commun Pour les véhicules motorisés, fixation de seuils minimaux et maximaux de stationnement en fonction des dessertes en TC réguliers et de la destination des bâtiments et pour les véhicules non motorisés, fixation de seuils minimaux seulement	Imposition d'une densité minimale dans les secteurs desservis par les TC L'intégration et la programmation des orientations du PDU (également du PLH mais pas le même enjeu)
Réduire les émissions de GES	Pour les véhicules motorisés, fixation de seuils minimaux et maximaux de stationnement en fonction des dessertes en TC réguliers et de la destination des bâtiments et pour les véhicules non motorisés, fixation de seuils minimaux seulement	L'intégration et la programmation des orientations du PDU (également du PLH mais pas le même enjeu)

*Les mesures contre la dépendance automobile sont difficilement identifiables car contribue également à la lutte contre la consommation spatiale, la réduction des consommations énergétiques et de GES, ce qui justifie les doublons.

Fig 3. Répartition des 200 démarches de PCET en cours en France selon leur état d'avancement

tion de *gabarit* à celle de Coefficient d'occupation des sols, COS, dans certains cas, ouvrant le débat sur la pertinence de la surface hors œuvre nette, SHON, tout en obligeant à penser *densité* ! Elle n'évoque pas de bilans de GES mais tend à généraliser l'évaluation environnementale jusque là imposée aux seuls SCoT et à certains PDU. Sur la base d'un état initial de l'environnement, cette évaluation doit mettre en lumière les impacts environnementaux des décisions d'urbanisme inscrites dans les documents de planification, schémas ou opérations d'urbanisme dans le cas où elle est imposée⁹.

La réforme vise également le renforcement et la généralisation des SCoT qui doivent couvrir l'intégralité du territoire national d'ici 2012. Ils peuvent désormais devenir opposables au tiers en l'absence de PLU, être plus contraignants que les réglementations en vigueur (notamment réglementation thermique imposant la performance énergétique des bâtiments) sous condition dans certaines zones et intègrent de nouvelles missions : en matière d'urbanisme, de logement, de transports et déplacements, de développement des communications numériques, d'équipement commercial, de développement économique, touristique et culturel, de protection des espaces naturels et de

9 Il s'agit ici de la transcription française de la directive 2001/42/CE du Parlement européen et du Conseil, du 27 juin 2001, relative à l'évaluation des incidences de certains plans et programmes sur l'environnement dont les conditions doivent être suivies.

préservation et de restauration des continuités écologiques. Ils deviennent en cela les documents d'articulation et de cohérence intercommunales. Les liens sont renforcés avec les documents de planification thématiques que sont les PLH PDU, Schémas d'équipement commercial et artisanal. D'ailleurs, cette échelle intercommunale sort très renforcée comme territoire pertinent de l'agir urbain puisque même les PLU, dont l'existence ou celle d'un POS¹⁰ confère aux maires la compétence en urbanisme depuis la première décentralisation des années 1980, sont appelés à devenir intercommunaux à moyens termes.

Ce souci de cohérence passe aussi par la réforme de la nature même des documents. Les SCoT, documents avant tout stratégiques, se gonflent d'un document constitutif d'orientations et d'objectifs qui peut tendre à devenir programmatique. Les PLU, en revanche, tout en restant très réglementaires, voient l'écriture de ceux-ci s'adoucir pour devenir moins normatifs et prendre davantage la forme d'un projet territorial instrumenté pour les collectivités les plus volontaristes. Très incitatif, ce texte de loi vise à donner les moyens aux collectivités les plus volontaires de relever les défis climatiques, énergétiques et environnementaux. Il cherche à responsabiliser les collectivités sur l'importance de l'urbanisme dans ces défis, jusqu'à réformer l'écriture de l'article L110 non plus sur les seuls enjeux et objectifs de l'urbanisme mais sur la responsabilité des collectivités en la matière et l'importance de la gestion des sols dans la poursuite des défis climatiques énergétiques et environnementaux. L'urbanisme devient ainsi un outil aux services d'enjeux supérieurs.

Pour autant, si le renforcement des liens de cohérence entre documents de planifications territoriales peut contribuer à « l'harmonisation » recherchée dans la gestion de l'usage des sols dans cet article de loi, qu'en est-il de la cohérence entre documents traitant des enjeux climatiques et énergétiques ?

Article L110 du Code de l'Urbanisme

Modifié par LOI n°2009-967 du 3 août 2009 - art. 8

Le territoire français est le patrimoine commun de la nation. Chaque collectivité publique en est le gestionnaire et le garant dans le cadre de ses compétences. Afin d'aménager le cadre de vie, d'assurer sans discrimination aux populations résidentes et futures des conditions d'habitat, d'emploi, de services et de transports répondant à la diversité de ses besoins et de ses ressources, de gérer le sol de façon économe, de réduire les émissions de gaz à effet de serre, de réduire les consommations d'énergie, d'économiser les ressources fossiles d'assurer la protection des milieux naturels et des paysages, la préservation de la biodiversité notamment par la conservation, la restauration et la création de continuités écologiques, ainsi que la sécurité et la salubrité publiques et de promouvoir l'équilibre entre les populations résidant dans les zones urbaines et rurales et de rationaliser la demande de déplacements, les collectivités publiques harmonisent, dans le respect réciproque de leur autonomie, leurs prévisions et leurs décisions d'utilisation de l'espace. Leur action en matière d'urbanisme contribue à la lutte contre le changement climatique et à l'adaptation à ce changement.

Fig 4. Extrait du code de l'urbanisme tenant compte des lois Grenelle 1 et 2coT et PLU

¹⁰ Les Plans d'Occupation des Sols ont été réformés par les plans Locaux d'Urbanisme par la loi Solidarité et Renouvellement Urbain en décembre 2000. Certains sont toujours en vigueur.

L'absence d'articulation entre documents de planification énergétique et climatique, et les documents de planification urbanistique

Il a été vu, les PCET doivent être compatibles avec les documents de planification énergétique que sont les SRCAE. A l'échelle régionale donc, le SRCAE donne les enjeux tandis que le PCER devrait définir le programme d'actions opérationnelles. Des liens sont instaurés entre ces plans et les Plans de Protection de l'Atmosphère, avec les Schémas Régionaux de Raccordement aux Réseaux des Energies Renouvelables, et aux Schémas de Développement Eoliens.

A l'échelle plus fine des intercommunalités, il n'est pas exigé de liens entre documents de planification urbanistique et documents de planification énergétique (ceux précédemment mentionnés) ni avec les documents de planification climatique que sont les PCET ! Les Zones de développement de l'éolien ZDE, qui visent à favoriser le développement de ces énergies et à en planifier la localisation, demeurent dans un statut ambigu, sans obligation de prise en compte dans les documents de planification territoriale.

Plus finement encore, à l'intérieur des pièces constitutives de ces différents documents, la loi ne fait pas mention d'une convergence des outils de suivi et de mise en œuvre de ces différents documents. Soulignons-le encore, dans l'écriture actuelle du code de l'urbanisme, intégrant les réformes apportées par la loi Grenelle 2, aucune mention n'est faite des PCET dans le chapitre consacré au SCoT !

Ici, réside sans doute le principal point de faiblesse dans l'intégration des enjeux climatiques dans les SCoT et PLU. Les aspects atténuation seront traités en poursuivant les objectifs de limitation de l'étalement urbain, de réduction des consommations énergétiques et d'émissions de GES, et de diminution des déplacements contraints mais les enjeux de l'adaptation aux changements climatiques risquent fort de se limiter à la seule gestion des risques naturels car les seuls liens de compatibilité imposés concernent les plans de préventions des risques d'inondation et les documents de gestion de la ressource en eau quand ils existent.

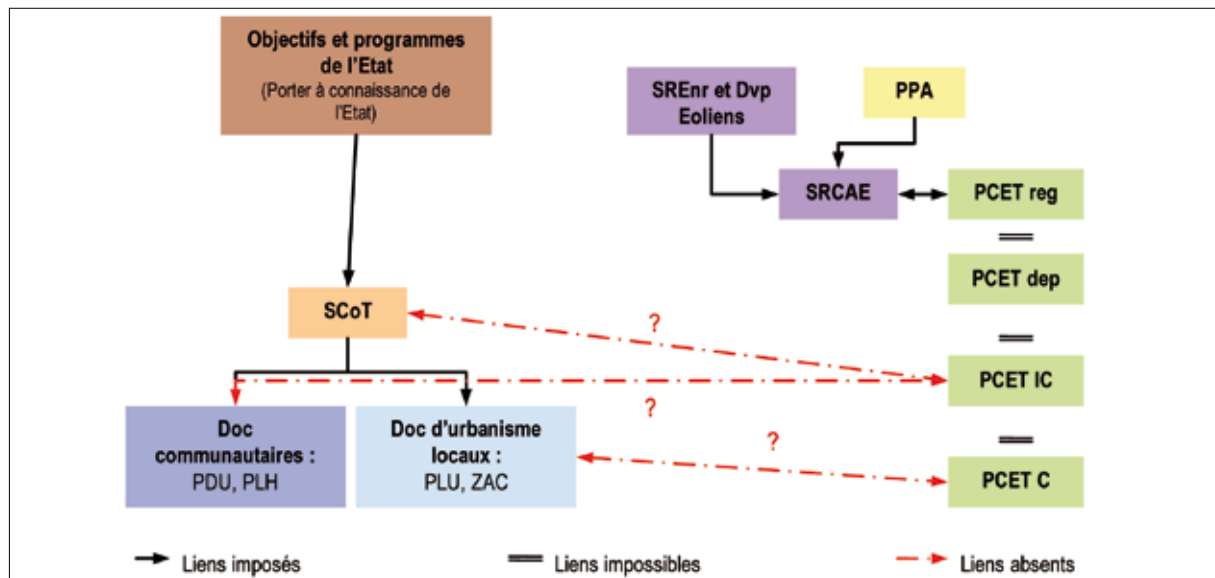


Fig 5. Schéma des liens imposés entre documents de planifications urbanistique, énergétique et climatique

En conclusion :
Quelles incohérences ? Quelles fragilités ?
Quels points de vigilance ?

Depuis la première génération de PCT, à partir de 2006 en France, institutions et guides pratiques de mise en œuvre militent pour que les documents d'urbanisme soient des documents de mise en œuvre opérationnelle et pérenne d'une politique climatique visant tant l'atténuation du réchauffement que l'adaptation. Lors de la consultation du Grenelle de l'environnement, beaucoup réclamaient l'imposition d'un indicateur de gaz à effet de serre dans les documents d'urbanisme et plus de cohérence entre documents de planification de l'usage des sols et documents thématiques ou sectoriels. Or, il n'a pas été imposé aux documents d'urbanisme de tenir compte des politiques climatiques des collectivités territoriales écrites dans les PCET, mais ces derniers doivent toutefois tenir compte des évolutions du territoire !

Les retours sur les quelques 200 exemples soulignent les difficultés des territoires à se saisir de cette question de l'adaptation. Ils mettent aussi en exergue deux catégories de PCT : ceux qui ont été qualifiés « d'entreprises », centrés sur les activités et fonctionnement interne aux services administratifs et à la gestion de ses biens, et ceux qualifiés de « territoriaux » usant davantage des fonctions régaliennes et incitatives de celles-ci. La redéfinition des PCET dans les mêmes thèmes et sans imposition de liens dans les documents de planification ne changera rien à cette catégorisation.

Le principe de non subsidiarité entre collectivités territoriales ne fait reposer l'indispensable cohérence entre tous les PCET aux différentes échelles régionales, départementales, intercommunales et communales où ils sont imposés que sur la seule capacité des acteurs qui auront à les élaborer quand on a pu constater que les jeux d'acteurs étaient tout autant facteurs de réussite et de blocage dans l'élaboration de chaque PCT. Cette fragilité relevant de la gouvernance est renforcée par l'absence de liens entre planification énergétique et territoriale, l'articulation revenant, par double lien mou, au PCET : les PCET doivent prendre en compte les SCoT et tenir compte des SRCAE.

Au-delà du défi sociologique qui se pose ici, les difficultés d'accès aux données entravent le nécessaire renversement méthodologique pour définir des PCET véritablement ancrés dans toute l'épaisseur géographique, physique, organisationnelle et culturelle des territoires, donc répondant à des processus bottom-up. Il a été vu qu'il leur était souvent reproché une appropriation du type top-down. Cela n'est pas insurmontable puisque trois collectivités territoriales, Grenoble, Alpes Métropole, St-Etienne Métropole et la Communauté Urbaine de Lyon, ont décidé conjointement de s'engager dans une recherche action afin d'élaborer de tels PCET et de se risquer au jeu de la comparaison évaluative.

Ces questions méthodologiques se déclinent dans celles des outils et méthodes de suivi évaluation à disposition des collectivités pour l'élaboration de ces différents documents. La planification urbaine exige des indicateurs spatialisés et dynamiques alors que les PCET reposent sur des bilans GES. Aussi l'ADEME s'est-elle engagée, au côté du Ministère de l'Ecologie et du CERTU depuis 2008 dans l'élaboration d'un outil d'évaluation des émissions de GES adapté aux exercices de planification urbanistiques comme aux opérations d'urbanisme. Elle avait auparavant développé le Bilan Carbone® très largement utilisé pour l'élaboration des PCT mais non dynamique et non spatialisé. Elle travaille également à faciliter l'articulation entre les documents de planification énergétique, de préservation de la qualité de l'air et les plans climat, mais également sur l'articulation entre PCET et SCoT, notamment dans la révision de l'AEU® Approche Environnementale de l'Urbanisme. Enfin, elle s'est engagée fortement dans la définition du Cadre de Référence Européen pour la Ville Durable et envisage de travailler sur son appropriation française en portant particulièrement ses efforts sur des indicateurs quantitatifs déclinables aux différentes échelles de l'agir urbain. Gageons que ces chantiers ouverts et que le volontarisme des collectivités territoriales dont témoignent les trois collectivités sus mentionnées permettront de relever les défis climatiques de l'atténuation et de l'adaptation !

Références

ADEME-MEEDDM (décembre 2009). *Construire et mettre en oeuvre un plan climat énergie territorial*, guide méthodologique.

ADEME, LE MONITEUR (mai 2006). *Réussir un projet d'urbanisme durable : Méthode en 100 Fiches pour une approche environnementale de l'urbanisme AEU®*.

COMITÉ INTERMINISTÉRIEL POUR LE DÉVELOPPEMENT DURABLE (3 Juin 2003). *Stratégie Nationale de Développement Durable*.

MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE ET DU DÉVELOPPEMENT DURABLE (Septembre 2004). *Plan Climat 2004, Face au changement climatique agissons ensemble, Mission Interministérielle à l'Effet de Serre*.

ASSOCIATION DES MAIRES DE FRANCE (novembre 2005). *Un Plan Climat à l'échelle de mon territoire - Guide*, ADEME, Mission Interministérielle à l'Effet de Serre, ministère de l'Écologie et du Développement Durable.

OFFNER J.-M. (février 2006). *Les plans de déplacements urbains*, coll. le point sur Predit, La documentation Française.

Loi n° 2010-788 du 12 Juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement

Loi n° 2009-967 du 3 août 2009 de programmation relative à la mise en oeuvre du Grenelle de l'environnement

CENTRE DE RESSOURCES PCET : www.pcet-ademe.fr

Dossier Bilan Carbone de l'ADEME : www.ademe.fr/bilan-carbone/

Plan d'utilisation de l'énergie, un instrument communal vers la réduction des émissions de gaz à effet de serre

Energy-Use Plan, a municipal instrument for reducing greenhouse gas emissions

C. Bonnet, T. Wagner, T.Schmid¹

Face à la nécessité de plus en plus forte d'agir en vue de réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES), aux incertitudes liées à la dépendance énergétique et aux coûts croissants de l'énergie, les communes sont appelées à s'impliquer de plus en plus dans la gestion énergétique locale. C'est dans ce contexte qu'a été développée une méthodologie de planification énergétique communale, le plan d'utilisation de l'énergie. Celui-ci a la particularité de considérer l'énergie d'un point de vue spatial à partir d'un système d'information géographique (SIG). Il est fondé sur un état des lieux détaillé de la situation énergétique de l'ensemble de la commune tenant compte de la demande en énergie (thermique et électrique), des infrastructures existantes et des ressources locales et renouvelables disponibles. A partir de cet état des lieux, le plan définit les principales orientations de la commune en matière d'énergie (vision énergétique globale) en vue d'assurer la cohérence, la coordination et l'efficacité des mesures concrètes qui seront amenées à être développées dans les domaines des économies d'énergie, de l'efficacité énergétique et des énergies renouvelables.

In the face of the increasingly strong need to act in order to reduce greenhouse gas emissions (GHG), of the uncertainties linked to energy dependence and the increasing costs of energy, the municipalities are called upon to become increasingly involved in local energy management. It is in this context that a municipal energy planning methodology has been developed, the Energy-Use Plan. This has the characteristic of considering energy from a geospatial point of view on the basis of a geographic information system (GIS). It is founded on a detailed inventory of the energy situation of the municipality as a whole, which takes account of the energy demand (thermal and electric), the existing infrastructures and the available local and renewable resources. From this inventory, the plan defines the municipality's principal energy-related orientations (total energy vision) in order to ensure the coherency, co-ordination and effectiveness of the concrete measures that will have to be developed in the fields of energy saving, energy efficiency and renewable energies.

Mots-clé : Communes, planification énergétique, énergies renouvelables, efficacité énergétique

Keywords : Communes, energy planning, renewable energies, energy efficiency

¹ Technische Universität München, Department of Building Climatology and Building Services, Prof. Dr.-Ing. Gerhard Hausladen, Arcisstrasse 21, 80333 Munich, Allemagne - cecile.bonnet@lrz.tum.de

Face à la nécessité de plus en plus forte d'agir en vue de réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES), aux incertitudes liées à la dépendance énergétique et aux coûts croissants de l'énergie, les communes sont appelées à s'impliquer de plus en plus dans la gestion énergétique locale en vue de réduire la consommation d'énergie et de développer les énergies renouvelables et ainsi d'assurer un approvisionnement énergétique durable à ses citoyens.

Cependant, la situation actuelle montre que les mesures prises sont souvent très individuelles, non coordonnées et parfois peu efficaces. Les nombreuses installations de biogaz existantes, concentrées sur la production d'électricité et sans utilisation de la chaleur résiduelle en constituent un exemple. Les communes manquent souvent d'un aperçu de la situation énergétique sur leur territoire et par conséquent également de connaissances des mesures concrètes les plus adaptées à la situation locale.

C'est dans ce contexte qu'ont été étudiées les possibilités de développer une méthodologie de planification énergétique pour les communes, le plan d'utilisation de l'énergie. Celui-ci a pour objectifs :

- de réaliser un état des lieux de la situation énergétique de la commune, tenant compte de la demande actuelle en énergie (chaleur et électricité), des infrastructures existantes (installations de production et de distribution d'énergie) et des ressources énergétiques locales et renouvelables disponibles sur l'ensemble de la commune ;
- de définir, à partir de cet état des lieux, les principales orientations de la commune en ce qui concerne les mesures à développer en vue d'assurer un approvisionnement énergétique plus durable et pauvre en émissions.

Pour cela, ont été considérés les secteurs résidentiels, tertiaires et industriels. En raison de l'importante dispersion spatiale du secteur des transports et pour autant des difficultés et du manque de pertinence de la localisation de ce secteur aux frontières d'une commune, ce secteur n'a pas été pris en compte dans l'étude, bien qu'il représente globalement une part non négligeable de la consommation.



Cécile Bonnet — PHOTO F. DOR

Le plan d'utilisation de l'énergie s'appuie sur les trois piliers suivants pour développer un concept énergétique durable et pauvre en émissions :

- la réduction de la demande
- l'accroissement de l'efficacité dans la production d'énergie
- l'introduction des énergies renouvelables

Il a la particularité de s'appuyer sur une approche spatiale de l'énergie où les différents paramètres étudiés sont localisés sur le territoire concerné. La base cartographique à travers l'utilisation d'un système d'information géographique (SIG) est donc un élément essentiel à cette méthodologie.

La méthodologie du plan d'utilisation de l'énergie a été développée par la Technische Universität München² dans le cadre d'un projet pilote dans l'arrondissement de Munich (arrondissement entourant la

1 Department of Building Climatology and Building Services - Department of Energy Economics and Application Technologies

ville de Munich). Les maîtres d'ouvrage étaient le ministère bavarois de l'environnement et de la santé (direction), l'administration de la construction du ministère bavarois de l'intérieur et le ministère bavarois de l'économie, des infrastructures, des transports et de la technologie. Le projet a été en outre cofinancé par l'administration de l'arrondissement de Munich et e.on. Cet arrondissement s'est donné pour objectifs de réduire la demande énergétique de 60 % à l'horizon 2050 par rapport à son niveau de 2006 et de couvrir

la demande restante par les énergies renouvelables. Six communes ont plus particulièrement fait l'objet de cette étude. Celles-ci présentent une population comprise entre 4000 et 20 000 habitants avec une structure s'échelonnant du rural à l'urbain, à la frontière de la ville de Munich.

L'étude est structurée en deux phases principales : l'établissement d'un état des lieux énergétique et le développement de concepts énergétiques.

Etablissement d'un état des lieux énergétique de la commune

La première étape dans l'élaboration d'un plan communal d'utilisation de l'énergie est l'obtention d'un aperçu détaillé de la situation énergétique de la commune. Celle-ci concerne la demande en énergie thermique et en électricité de l'ensemble des bâtiments (publics et privés), les infrastructures énergétiques existantes et les potentiels énergétiques disponibles sur le territoire étudié.

Le plan considère de façon différenciée l'énergie thermique et l'électricité. En effet, en raison de la présence quasiment généralisée du réseau électrique, les lieux de production et de consommation d'électricité peuvent être largement découplés. Au contraire, la structure d'approvisionnement en énergie thermique est beaucoup plus décentralisée avec des solutions individuelles par bâtiment, voire par logement, ou des réseaux de chaleur généralement limités à quelques quartiers ou ensembles de bâtiments. De manière générale, l'approvisionnement électrique est donc beaucoup moins lié à l'espace local que l'approvisionnement en chaleur. Le projet a donc étudié de façon détaillée la répartition spatiale de la demande de chaleur sur les communes considérées tandis que seule la demande totale en électricité, relative à l'ensemble de la commune, a été considérée. Cette donnée peut généralement être mise à disposition par les exploitants du réseau électrique. Dans le cas contraire, des données statistiques par secteurs pourront être appliquées.

Détermination de la demande thermique

Plusieurs méthodes ont été analysées afin d'obtenir une approximation la plus réaliste possible de la demande en énergie thermique du parc de bâtiments d'une commune. Celles-ci se différencient par leur degré d'approximation ainsi que par le temps requis pour les appliquer. Le niveau d'adéquation de l'une ou l'autre des méthodes à une commune donnée dépend de la taille et de la structure de la commune ainsi que des données qui y sont disponibles.

Utilisation de données réelles

Cette méthode est la plus exacte puisqu'elle considère les quantités d'énergie réellement consommées, par exemple à partir de factures individuelles des consommateurs ou de données des fournisseurs d'énergie.

L'étude a pu montrer que la mise à disposition des données par les fournisseurs locaux d'énergie (fournisseurs de gaz, exploitants de réseaux de chaleurs) s'avère problématique, en raison de la protection des données. De plus, l'accroissement du nombre de fournisseurs rend difficile un recensement complet. Enfin l'approvisionnement à partir de certaines sources d'énergie comme le fioul ou le bois ne peut être facilement répertorié de cette manière.

Le recours aux factures individuelles des consommateurs implique que ceux-ci mettent à disposition ces

données de façon volontaire, par exemple à travers des sondages. Les taux de réponse aux sondages étant en règle générale relativement réduits (de l'ordre de 10 % dans les deux communes étudiées), cette méthode ne permet pas de disposer de données complètes pour l'ensemble de la commune considérée. Elle n'est donc effectivement utilisée qu'en complément à une autre méthode ou pour sa vérification.

Méthode d'approximation fondée sur la typologie des bâtiments

Cette méthode s'appuie sur le fait que des bâtiments résidentiels d'un même type (maison individuelles, immeubles) et datant d'une même époque présentent des caractéristiques constructives similaires et par conséquent des demandes thermiques rapportées à la surface habitable également similaires.

Elle est fondée sur plusieurs études ayant permis de définir différentes catégories de bâtiments selon leur type et leur époque de construction et de déterminer leur consommation de référence d'après leurs caractéristiques constructives (/IWU, 2003a/ ; /IWU, 2003b/ ; /Born, 2003/ ; /Neuffer, 2001b/). De façon idéale, cette méthode doit également tenir compte d'éventuelles mesures de rénovation énergétique déjà appliquées aux bâtiments.

L'application de cette méthode requiert donc la connaissance de l'époque de construction et de la surface habitable de chaque bâtiment résidentiel. Ces données peuvent être obtenues de différentes sources. En Allemagne, les cadastres communaux contiennent généralement ces données mais celles-ci ont jusqu'à présent rarement été digitalisées dans une base de données et par conséquent leur saisie dans un SIG, nécessaire à leur traitement, demande un travail conséquent.

Il est également possible de réaliser des relevés sur le terrain de l'époque de construction et du nombre d'étages des bâtiments. La surface habitable sera alors obtenue à partir de la surface au sol des bâtiments (SIG) et du nombre d'étages. Cette méthode requiert des connaissances des caractéristiques constructives et architecturales par époque et s'avère coûteuse en temps. La taille de la commune est donc décisive. Cette alternative permet également de rele-

ver des données sur d'éventuelles mesures de rénovation énergétique et d'affiner ainsi les résultats.

Pour les bâtiments non résidentiels, la typologie de bâtiments n'est plus fondée sur l'âge et le type de bâtiment, mais sur des critères relatifs à l'usage du bâtiment (type d'activités), ainsi qu'au nombre d'employés (tertiaire), de lits (hôpitaux) ou d'élèves (écoles), etc.

Méthode d'approximation fondée sur la typologie d'ensembles

Cette méthode est la plus approximative, mais aussi la plus rapide. Elle s'appuie sur le fait que des ensembles de bâtiments de caractéristiques similaires quant à l'usage (résidentiel, tertiaire, etc.) et au type de bâtiments (maisons unifamiliales, maisons mitoyennes, immeubles, etc.) présentent des consommations énergétiques rapportées à la surface au sol totale de l'ensemble également similaire (/Neuffer, 2001a/ ; /Blesl, 2002/ ; /Roth, 1980/). Pour cela, il est donc nécessaire d'identifier de tels ensembles de caractéristiques uniformes. Ceci pourra être effectué à partir d'orthophotos et de repérages sur le terrain.

Cette méthode est particulièrement adaptée à des communes relativement grandes avec des structures uniformes et facilement identifiables.

Bien qu'elle soit beaucoup plus rapide que la méthode précédente, elle présente les inconvénients de ne tenir compte ni de l'âge des bâtiments et donc des variations de la demande thermique correspondante, ni de la densité de construction réelle des ensembles (par exemple à travers le coefficient d'occupation des sols).

De nombreuses incertitudes sont donc liées à l'application des deux méthodes statistiques précédentes : qualité des données de base, prises en compte seulement partielle de mesures ultérieures d'isolation (pas toujours visibles ou répertoriées), non prise en compte de l'influence du comportement de l'utilisateur sur la demande. Cependant des vérifications à partir de données réelles ont permis de démontrer la plausibilité des résultats obtenus de façon statistique.

Carte de densité de la demande thermique

Quelque soit la méthode appliquée, le résultat de cette première étape est une carte représentant la densité de la demande thermique de la commune (Fig.1) et définissant donc la répartition spatiale de la demande. L'unité de base de cette carte est un ensemble de bâtiments de caractéristiques homogènes tel qu'il a été défini dans la méthode de typologie d'ensemble (voir ci-haut). Dans le cas où la demande a été déterminée selon la typologie de bâtiments, des ensembles seront également définis selon le même principe. La somme de la demande thermique de tous les bâtiments de l'ensemble sera établie et rapportée à la surface au sol de l'ensemble. Ceci permet également de ne pas représenter de données individuelles soumises à la protection des données. Pour chaque ensemble, sera représentée la demande thermique annuelle totale rapportée à la surface au sol de l'ensemble.

Cette carte permet ainsi d'identifier les zones de forte concentration de la demande, par exemple en vue

d'évaluer la possibilité de mettre en place un réseau de chaleur (voir chap. 3).

Scénarios d'estimation de l'évolution de la demande thermique

Enfin des scénarios ont été développés afin d'évaluer l'évolution de la demande thermique à un horizon de 20 ans (Fig. 2). Ceux-ci s'appuient sur des cycles de rénovation énergétique complète des bâtiments de 40 à 60 ans selon le type et l'époque de construction du bâtiment et des valeurs de réduction de la demande correspondantes (/Born, 2003/). Dans la mesure du possible, de tels scénarios doivent également tenir compte de l'évolution de la population et des nouvelles constructions prévues. L'évolution de la demande des secteurs industriels et tertiaires s'avère la plus difficile à évaluer, en raison des changements rapides et difficilement planifiables qui sont susceptibles de s'y produire.

De tels scénarios contribuent à augmenter la précision dans le développement de concepts (chap. 3), ceux-ci ayant pour but de définir des mesures sur le long terme.

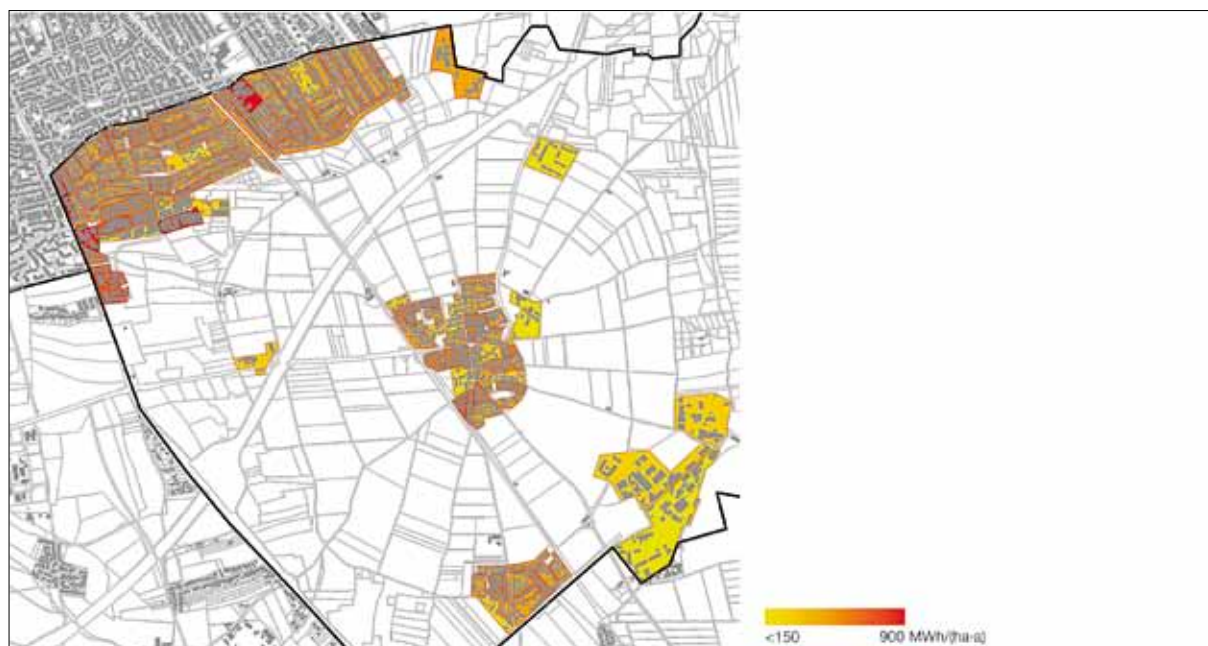


Fig 1. Carte de densité de la demande thermique actuelle

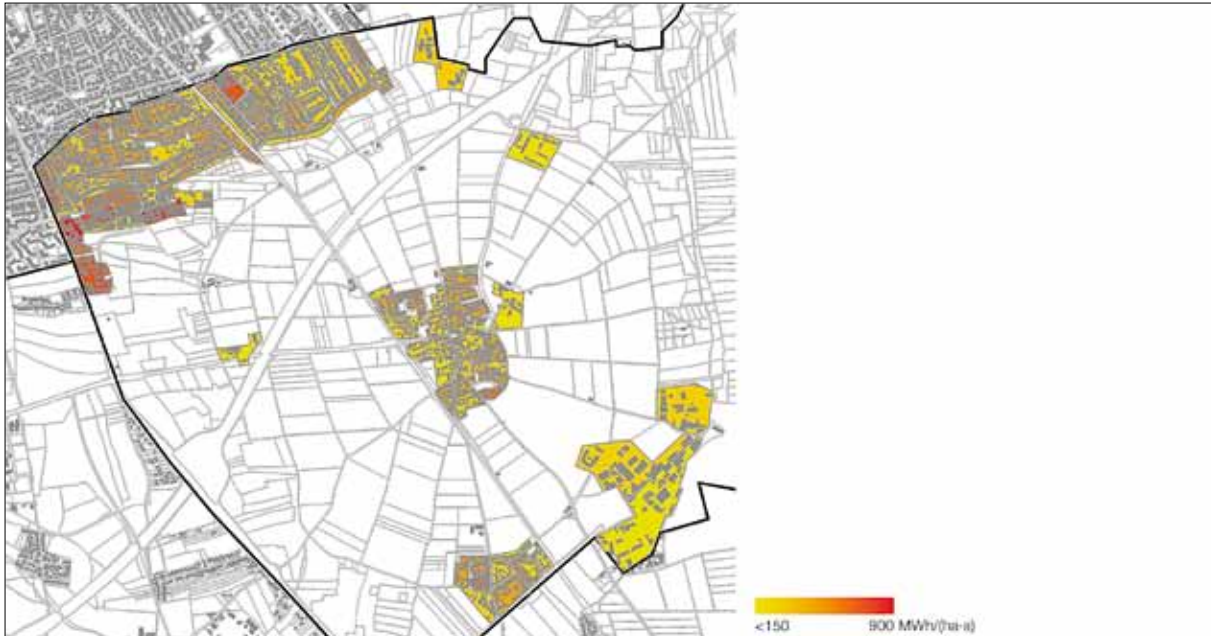


Fig 2. Carte de densité de la demande thermique future (20 ans)

Etat des lieux des infrastructures énergétiques existantes

La connaissance des infrastructures énergétiques existantes constitue une base essentielle pour le développement de concepts. Celles-ci regroupent à la fois les installations d’approvisionnement en énergie (chaleur et électricité) de grande taille, servant généralement à l’approvisionnement de plusieurs bâtiments, et les installations individuelles relatives à un seul bâtiment (Fig. 3).

Installations de grande taille

Seront répertoriées d’une part les centrales de production d’électricité et/ou de chaleur ainsi que leurs caractéristiques telles que la/les source(s) d’énergie, la taille (puissance), le type d’énergie produite (chaleur et/ou électricité) et l’âge de l’installation.

D’autre part, il s’agira s’identifier les secteurs approvisionnés par des réseaux de chaleurs en utilisant comme base les ensembles définis dans l’analyse de la demande thermique.

Enfin il sera possible d’identifier de la même manière les ensembles ou la part des bâtiments d’un ensemble approvisionnés par le réseau de gaz.

Installations individuelles

Les spécificités de l’approvisionnement individuel en énergie thermique constituent également une base intéressante en vue du développement de concepts. La disponibilité de telles données permet par exemple de déterminer le type de chauffage prédominant (source d’énergie) et l’âge moyen des installations par ensemble. De telles informations permettent à leur tour d’affiner le développement de concepts. Par exemple, la présence d’installations très récentes réduit les probabilités de connexion du bâtiment à un possible réseau de chaleur, étant donné que les habitants seront a priori peu disposés à changer leur installation.

Des données sur la source d’énergie prédominante peuvent permettre d’identifier, le cas échéant, des secteurs où la part des énergies renouvelables est déjà élevée et donc où l’introduction de nouvelles mesures n’est pas prioritaire (chap. 3).

En Allemagne ces données sont répertoriées par les ramoneurs qui ont également la fonction de contrôler les chaudières. L'expérience a cependant montré

qu'en raison de la protection des données, l'obtention de ces informations peut s'avérer problématique.

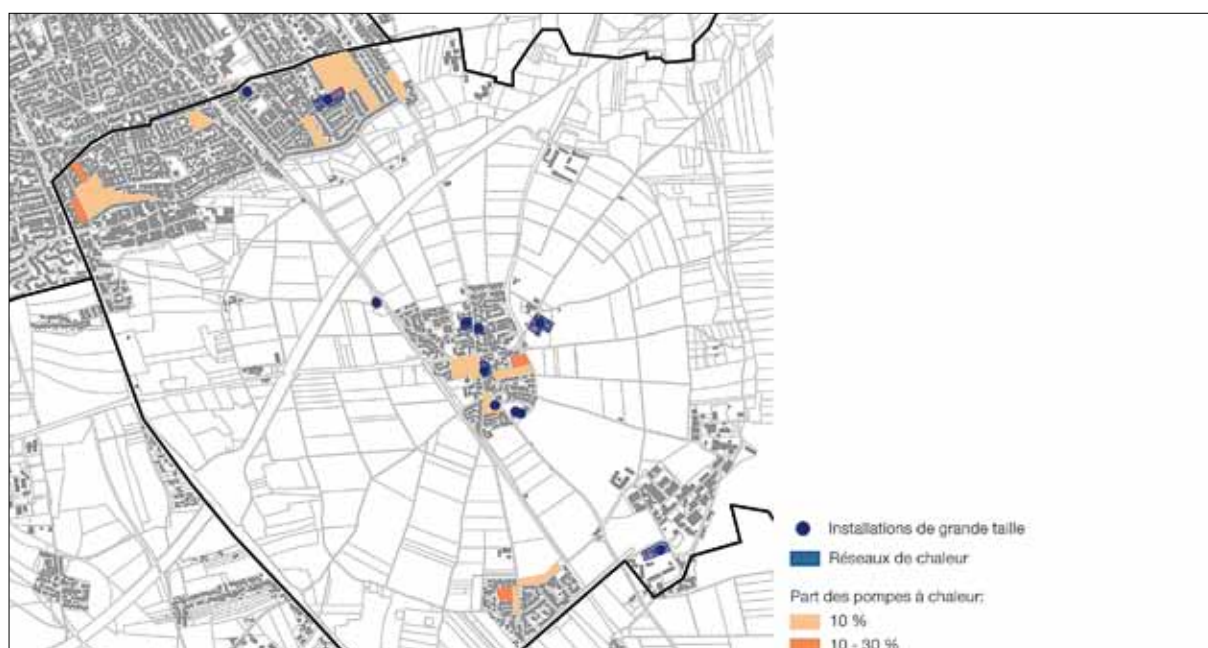


Fig 3. Infrastructures (partielles)

Evaluation des potentiels énergétiques

Le but de cette dernière étape dans l'élaboration de l'état des lieux énergétique est de répertorier l'ensemble des ressources énergétiques locales et renouvelables disponibles sur le territoire de la commune et, en tant que possible, d'évaluer quelles quantités d'énergie pourrait être obtenues de la valorisation de ces ressources d'après l'état actuel de la technique (potentiel technique), en tenant compte des potentiels déjà utilisés (Fig. 4). L'analyse est fondée sur des cartes et des valeurs d'approximation issues de différentes études existantes ainsi que sur le développement de méthodes propres. Les conclusions suivantes ont pu être établies quant aux possibilités d'évaluation des différents potentiels dans une commune :

Energie solaire

Pour l'évaluation des potentiels solaires, seules les surfaces de toitures ont été prises en compte. La possibilité d'utiliser des terrains libres pour le développement de parcs photovoltaïques n'a pas été considérée en raison de possibles concurrences dans l'occupation des sols.

Une méthode a été développée afin d'évaluer le potentiel solaire disponible sur l'ensemble des toitures dans une commune (/Müller, 2009/). Elle a permis en particulier de développer un facteur moyen représentant la quantité de rayonnement solaire annuel utilisable sur les toitures, rapporté au mètre carré de surface au sol des bâtiments.

Ce facteur a été développé à partir d'analyses détaillées de plusieurs communes bavaroises en tenant compte de l'orientation des toitures, des possibles ombrages et du rayonnement solaire annuel. Ce facteur a été déterminé pour cinq zones de rayonnement solaire en Bavière. On peut alors obtenir une approximation de la quantité d'énergie solaire disponible en multipliant ce facteur par la somme des surfaces au sol de l'ensemble des bâtiments d'une commune. A partir de cette valeur il est alors possible de développer des scénarios quant à l'utilisation concrète de cette énergie pour la production de chaleur et/ou d'électricité en tenant compte des rendements des installations correspondantes.

Les résultats de l'étude montrent que l'énergie solaire représente l'une des ressources renouvelables majeures au niveau d'une commune. Se pose cependant le problème de l'irrégularité de sa production et des difficultés de stockage qui en font dans la majorité des cas une ressource complémentaire à d'autres ressources.

Biomasse

L'évaluation des potentiels énergétiques issus de la biomasse est confrontée au conflit lié à la répartition des surfaces agricoles et forestières entre les différents postes d'usages (alimentation, énergie, matière première) et l'impossibilité de limiter ces considérations aux frontières d'une commune.

De même, différents usages énergétiques peuvent entrer en conflit dans l'utilisation des sols, comme par exemple les parcs photovoltaïques et la production de biomasse. Au contraire les résidus de biomasse (déchets ménagers organiques, résidus des récoltes agricoles, de l'industrie agroalimentaire ou de l'industrie du bois, déchets issus de l'entretien des espaces verts) constituent une ressource secondaire particulièrement adaptée à des usages énergétiques. La réalisation d'un état des lieux le plus exhaustif possible de ces ressources à l'échelle d'une commune requiert cependant le recensement de données issues de nombreux postes.

A titre indicatif et de manière à orienter les communes sur ces aspects, l'étude a considéré l'utilisation de 10 % de la surface agricole totale à des fins éner-

gétiques. Ce pourcentage s'appuie sur la part de la surface agricole nationale actuellement dédiée à des usages énergétiques. En ce qui concerne le bois-énergie, l'étude s'est proposée, également à titre d'orientation, de ne considérer que les résidus des activités forestières à travers une valeur moyenne de production de résidus par hectare de surface forestière et par an.

Géothermie superficielle

En règle générale, l'usage de la géothermie superficielle pour l'opération d'une pompe à chaleur est possible sur la majeure partie du territoire d'une commune à l'exception des zones de protection des sources d'eau potable ou dans quelques cas du fait de propriétés géologiques désavantageuses.

Pour cette raison et du fait de l'usage majoritairement individuel de cette ressource, l'analyse s'est limitée à l'identification de zones adaptées à l'usage de la géothermie superficielle, en distinguant les zones où l'usage de la nappe phréatique est possible, des zones où seul l'usage de capteurs enterrés est envisageable. Cette analyse est basée sur des cartes existantes (/StMUG, 2007/).

Géothermie profonde

L'usage de chaleur issue de la géothermie profonde n'est possible qu'en présence de conditions géologiques très particulières qui ne sont données, dans le cas de la Bavière, que dans une zone relativement réduite (/StMWIVT, 2010a/). L'exploitation de telles ressources exige des installations de très grande taille liées à des coûts très élevés. L'évaluation des potentiels correspondants exige donc des analyses détaillées et au cas par cas. A partir de l'atlas géothermique existant (/StMWIVT, 2010a/), il s'agira donc d'évaluer dans un premier temps si cette ressource entre en considération pour la commune étudiée.

Eolien

L'analyse des ressources éoliennes se limitera dans un premier temps à une première évaluation de l'adéquation de la commune pour le développement d'installations. Celle-ci s'appuie sur l'analyse de la vitesse moyenne du vent à différentes hauteurs à partir de cartes existantes (atlas éolien /StMWIVT, 2010b/). Des

considérations de distances minimales à respecter par rapport aux bâtiments d'habitations (par exemple 500, 800 ou 1000 m) pourront compléter cette première analyse qui permettra de décider du bien fondé d'analyses plus détaillées.

Chaleur résiduelle

L'utilisation de chaleur résiduelle issue, par exemple, de procédés industriels constitue une mesure particulièrement efficace vers un approvisionnement énergétique durable, en particulier si le niveau de température est suffisamment élevé pour une utilisation directe (sans pompe à chaleur). Il s'agit en effet d'une énergie résultant d'une autre application et qui est sinon dispersée dans l'environnement.

L'état des lieux de cette ressource et l'évaluation du potentiel énergétique correspondant nécessitent une

approche individuelle à chaque industrie ou autre source possible. La considération du niveau de température et d'éventuelles variations temporelles de la production d'énergie est essentielle en vue d'évaluer l'usage possible (LfU, 2007).

La récupération de chaleur des canalisations d'eaux usées constitue un cas particulier d'utilisation de chaleur résiduelle. Une élévation de la température à l'aide d'une pompe à chaleur est alors nécessaire.

A partir de paramètres minima requis pour pouvoir envisager une utilisation (diamètre de la canalisation, débit, température), il est possible d'identifier les segments du réseau où un usage pourra être analysé de façon plus détaillée (BWP, 2005). Si suffisamment d'informations sont disponibles concernant le débit et la température, un potentiel approximatif peut être évalué.

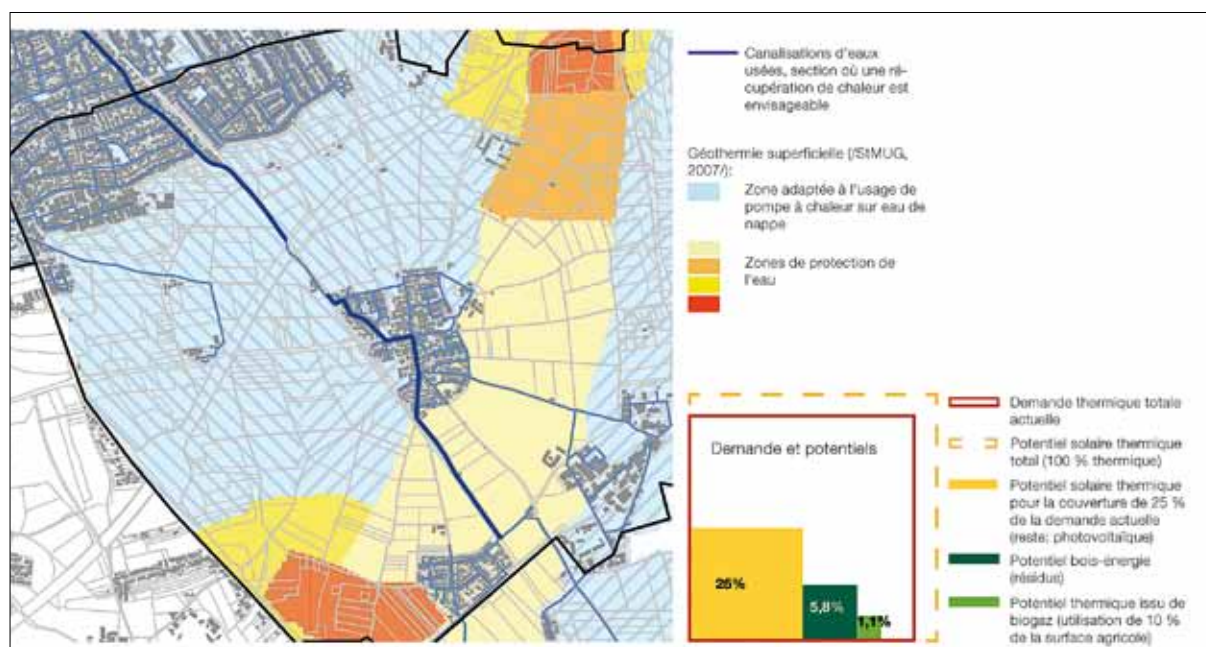


Fig 4. Potentiels

Développement d'un concept énergétique communal, plan d'utilisation de l'énergie

Cette seconde phase consiste, à partir de l'état des lieux énergétique établi dans la première phase, à définir des concepts pour un développement énergétique durable pour la commune.

Ces concepts concernent autant le développement des énergies renouvelables que la réduction de la demande et l'augmentation de l'efficacité énergétique. Ils visent la définition de mesures efficaces, coordonnées et cohérentes entre elles et avec la situation énergétique locale (phase 1) dans ces trois domaines. Ils se développent du court vers le long terme. L'objectif général est d'obtenir une coordination optimale entre la demande (actuelle et future) et les potentiels énergétiques locaux ainsi que les infrastructures existantes.

Ce processus de conception a la particularité d'être fondé sur une analyse spatiale qui peut être comparée à un processus de filtrage progressif de l'ensemble des caractéristiques énergétiques propres à la commune à partir de principes d'efficacité énergétique fondamentaux et de paramètres de référence. Les ensembles de bâtiments définis dans la première phase constituent la base du processus d'analyse et de filtrage. Le processus peut être défini en quatre étapes :

Analyse de la densité thermique

La première étape consiste à filtrer les ensembles selon que leur densité de demande thermique permet ou non un approvisionnement par réseau de chaleur. En effet seule une densité suffisante (actuelle et future) permet d'assurer un fonctionnement économique rentable et énergétiquement efficace d'un réseau de chaleur. L'étude a considéré une valeur seuil de 150 MWh/ha.a. En dessous de cette valeur, on considérera que des solutions individuelles (par bâtiment) sont plus adaptées dans l'ensemble étudié. Cette valeur permet une première approximation, elle ne doit cependant être considérée comme une valeur définitive et immuable.

Cette première étape permet donc de distinguer les ensembles où des réseaux de chaleur sont a priori envisageables des ensembles où des solutions individuelles seront requises.

Analyse des infrastructures

Les infrastructures seront ensuite analysées afin de déterminer quels ensembles sont actuellement approvisionnés en énergie par des installations efficaces et/ou renouvelables et par conséquent ne requièrent pas de nouvelles mesures. Il s'agit par exemple d'ensembles approvisionnés par des réseaux de chaleurs alimentés par des installations de cogénération ou d'énergies renouvelables. De tels ensembles pourront aussi être considérés comme des points de départ pour l'élargissement des réseaux et l'approvisionnement de nouveaux ensembles. Il peut également s'agir d'ensembles où la part des installations individuelles renouvelables (bois-énergie) et ou des pompes à chaleurs est élevée et par conséquent des mesures immédiates ne sont pas nécessaires.

De même seront identifiés les ensembles qui par leurs caractéristiques constructives (bâtiments basse consommation, passifs) ne requièrent pas de nouvelles mesures.

Enfin les ensembles approvisionnés par des installations présentant un potentiel d'accroissement de l'efficacité énergétique ou de substitution d'une source fossile par une source renouvelable seront répertoriés.

Répartition des ressources disponibles

L'étape suivante s'intéresse alors à la répartition des potentiels identifiés dans la première phase pour l'approvisionnement des ensembles de bâtiments. Pour cela, un ordre de priorité pour l'usage des potentiels énergétiques a été établi. En effet, l'utilisation d'énergies renouvelables exige dans de nombreux cas le recours à de l'énergie complémentaire non renouvelable et n'est pour autant pas entièrement neutre en émissions de gaz à effet de serre. Le recours à des pompes à chaleur pour atteindre un niveau de température suffisant pour permettre l'utilisation de ressources à basse température en constitue un exemple. La classification des ressources par ordre de priorité du Tab. 1 a été établie à partir de l'énergie primaire non renouvelable contenue dans chaque kWh d'énergie finale délivrée

Approvisionnement thermique centralisé (réseau de chaleur)	1. Chaleur résiduelle à température élevée (sans pompe à chaleur)
	2. Energie solaire thermique en réseau de chaleur
	3. Chaleur issue de la géothermie profonde
	4. Centrale de cogénération, biomasse
	5. Centrale de chauffage, biomasse
	6. Chaleur résiduelle basse température et géothermie superficielle
	7. Centrale de cogénération, énergie fossile
Approvisionnement thermique décentralisé (installations individuelles)	1. Installations solaires thermiques
	2. Chaudière à biomasse
	3. Géothermie superficielle
	4. Chaudière, énergie fossile

Tab 1. Ordre de priorité dans l'utilisation des ressources

(facteur d'énergie primaire). A partir de cette classification, l'application des potentiels pour la couverture de la demande devra tenir compte des caractéristiques énergétiques des ressources et de la demande (niveau de température, courbe de charge, etc.).

En parallèle, on pourra également distinguer les ensembles présentant un fort potentiel d'économies d'énergie, par exemple à partir de l'âge moyen des bâtiments par ensemble. Ces données ne sont disponibles que si la typologie de bâtiments a été appliquée dans la phase 1, la typologie d'ensembles ne considérant pas l'âge des bâtiments. Ces ensembles seront définis comme prioritaires pour la rénovation énergétique.

Le résultat de cette troisième étape est donc un ensemble de mesures possibles pour les différents ensembles de bâtiments ou les groupements d'ensembles.

Plan d'utilisation de l'énergie

Par la confrontation et la valorisation des alternatives précédentes ainsi que la prise en compte du processus décisionnel et participatif dans la commune, cette dernière étape conduira à l'élaboration du plan définissant les grandes lignes pour le développement de la commune vers un approvisionnement énergétique durable.

Le résultat est un plan sur base cartographique représentant les mesures envisageables par secteur (Fig. 5),

accompagné du support explicatif correspondant.

Dans certains cas, le plan contiendra plusieurs alternatives pour un même ensemble, les mesures proposées par le plan n'ayant pas encore fait l'objet d'analyses détaillées en ce qui concerne le dimensionnement de l'installation ou la valorisation économique précise. Les mesures seront également hiérarchisées temporellement du court vers le long terme.

En ce qui concerne l'électricité, le plan pourra mettre en évidence des domaines appropriés au développement d'installation d'énergies renouvelables (éolien, photovoltaïque, hydraulique, etc.) et où une analyse plus fine pourrait être entreprise.

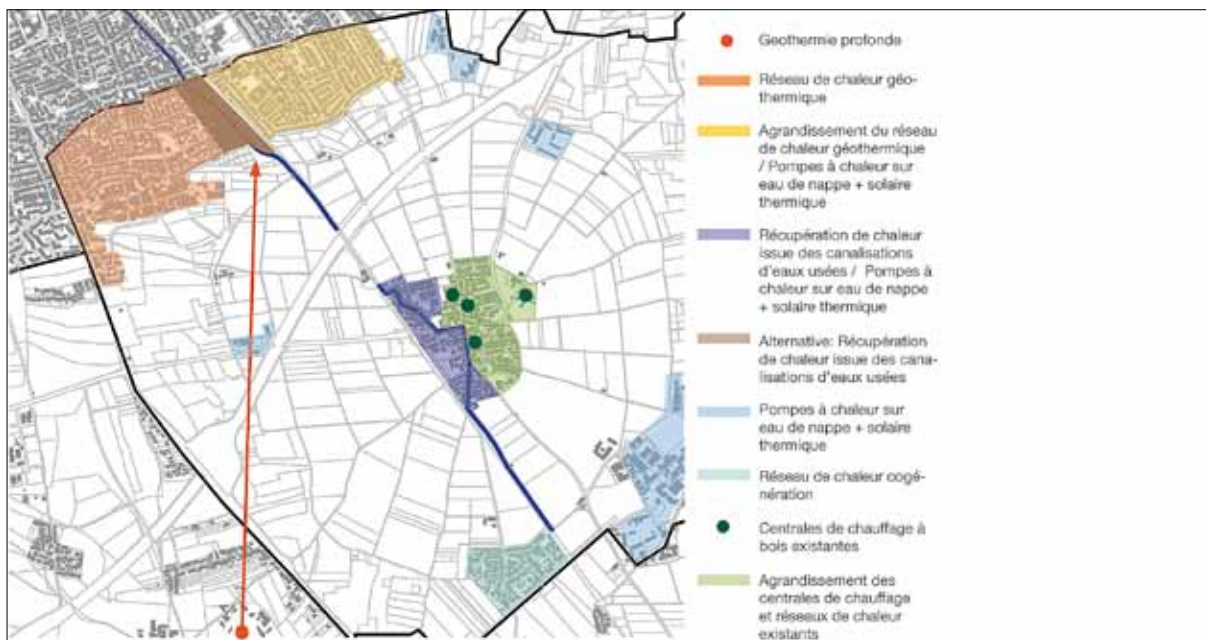


Fig 5. Plan des mesures possibles

Conclusions

L'étude a mis en évidence les possibilités d'établissement d'un état des lieux énergétique à l'échelle communale. Le degré de détail et d'exactitude dépend cependant largement des données disponibles (par exemple concernant les bâtiments) et de la possibilité de s'appuyer sur d'autres études et paramètres caractéristiques (par exemple en ce qui concerne les potentiels, cartes de la vitesse du vent, de la géothermie superficielle, etc.). La disponibilité de ces données peut cependant varier selon la région ou le pays. Ceci influence par conséquent aussi le niveau de détail de l'ensemble du plan.

Par ailleurs, l'étude a montré que l'analyse de cet état des lieux à partir de critères énergétiques fondamentaux et la confrontation des différents aspects considérés permet l'élaboration d'un concept énergétique à long terme définissant, dans une considération spatiale, les principales orientations énergétiques de la commune. L'importance de l'élargissement des considérations au-delà des frontières de la commune a éga-

lement été identifiée, des mesures intercommunales pouvant dans certains cas ouvrir des possibilités de synergies particulièrement efficaces.

L'étape suivante est la mise en application pratique de ce plan. Celle-ci requiert d'une part des études spécifiques plus approfondies (dimensionnement, analyse économique, etc.). D'autre part différents outils et modèles pourront être utilisés pour faciliter sa mise en place. Il s'agit d'instruments de planification communale existants (plan d'occupation des sols, plan d'aménagement urbain, etc.), d'instruments incitatifs (subventions) ainsi que de modèles d'organisation et de financement. Enfin, l'implication des principaux acteurs et en particulier des citoyens représente un aspect essentiel à l'application du plan.

Dans le cadre de ce projet, un guide destiné aux communes bavaroises pour l'élaboration d'un plan d'utilisation de l'énergie a été élaboré (/StMUG, 2011).

Références

BLES M. (2002). *Räumlich hoch aufgelöste Modellierung leitungsgebundener Energieversorgungssysteme zur Deckung des Niedertemperaturwärmebedarfs*, IER-Forschungsbericht Band 92, Stuttgart 2002, URL : <http://elib.uni-stuttgart.de/opus/volltexte/2002/1193/pdf/FB92.pdf>

BORN R., DIEFENBACH N., LOGA T., INSTITUT WOHNEN UND UMWELT GMBH (IWU) (2003). *Energieeinsparung durch Verbesserung des Wärmeschutzes und Modernisierung der Heizungsanlage für 31 Musterhäuser der Gebäudetypologie*, Studie im Auftrag des Impulsprogramms Hessen, Endbericht, Darmstadt 2003, URL : http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/klima_altbau/GebTyp_Impulsprogramm_Hessen_22_01_2003.pdf

BUNDESVERBAND WÄRMEPUMPE E.V. (2005). *Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Arbeitsgemeinschaft für sparsame Energie- und Wasserverwendung (ASEW) GbR im Verband kommunaler Unternehmen*, Institut Energie in Infrastrukturanlagen : Heizen und Kühlen mit Abwasser, Ratgeber für Bauherren und Kommunen, Zürich 2005, URL: http://www.waermepumpe.de/fileadmin/grafik/pdf/Flyer-Broschueren/abwasser_2009.pdf

INSTITUT WOHNEN UND UMWELT (2003a). *Deutsche Gebäudetypologie – Systematik und Datensätze*, Dokumentation, Darmstadt 2003, URL: http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/klima_altbau/Gebaeudetypologie_Deutschland_Dez_2003.pdf

INSTITUT WOHNEN UND UMWELT (2003b). *Deutsche Gebäudetypologie – Bilder typischer Gebäude*, Darmstadt, 2003, URL: http://www.iwu.de/fileadmin/user_upload/dateien/energie/klima_altbau/IWU_GebTyp_D.zip

BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (2007). *Leitfaden zur Abwärmenutzung in Kommunen*, Augsburg 2007, URL : http://www.lfu.bayern.de/luft/fachinformationen/co2_minderung/doc/leitfaden_abwaermenutzung.pdf

MÜLLER A. (2009). *Entwicklung von Methoden zur Ermittlung des Solarpotentials auf kommunaler Ebene*, Master Thesis, München 2009

NEUFFER H., WITTERHOLD F. G. (2001a). *Strategien und Technologien einer pluralistischen Fern- und Nahwärmeverversorgung in einem liberalisierten Energiemarkt unter besonderer Berücksichtigung der Kraft-Wärme-Kopplung und erneuerbarer Energien*, AGFW-Hauptstudie – erster Bearbeitungsabschnitt, Band 2: Wärmeversorgung des Gebäudebestandes + Technologieentwicklung und –bewertung, Frankfurt/M. 2001, URL : <http://www.agfw.de/86.0.html>

NEUFFER H., WITTERHOLD F. G. (2001b). *Strategien und Technologien einer pluralistischen Fern- und Nahwärmeverversorgung in einem liberalisierten Energiemarkt unter besonderer Berücksichtigung der Kraft-Wärme-Kopplung und erneuerbarer Energien*, AGFW-Hauptstudie – zweiter Bearbeitungsabschnitt, Band 1: Wirtschaftliche Rahmendaten - Räumlich verteilter Energiebedarf - digitale Wärmekarte, Frankfurt/M. 2001, URL : <http://www.agfw.de/86.0.html>

NEUFFER H., WITTERHOLD F. G. (2001c). *Strategien und Technologien einer pluralistischen Fern- und Nahwärmeverversorgung in einem liberalisierten Energiemarkt unter besonderer Berücksichtigung der Kraft-Wärme-Kopplung und erneuerbarer Energien*, AGFW-Hauptstudie – zweiter Bearbeitungsabschnitt, Band 3 : Zukunft der KWK und der Fernwärme – Modellgestützte Hochrechnungen – vergleichende Betrachtungen – Zukünftige Anforderungen, Frankfurt/M. 2004, URL : <http://www.agfw.de/86.0.html>

ROTH U. (1980). *Raumordnung, Wechselwirkungen zwischen der Siedlungsstruktur und Wärmeversorgungssystemen*, Schriftenreihe des Bundesministeriums für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau, Forschungsprojekt BMBau, Bonn 1980

BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT, GESUNDHEIT UND VERBRAUCHERSCHUTZ, BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, INFRASTRUKTUR, VERKEHR UND TECHNOLOGIE (2007). *Oberflächennahe Geothermie, Heizen und Kühlen mit Energie aus dem Untergrund, Ein Überblick für Bauherren*, Planer und Fachhandwerker in Bayern, München 2007, URL : http://www.lfu.bayern.de/geologie/fachinformationen/geothermie/geothermie_oberflaechennah/index.htm

BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT, GESUNDHEIT UND VERBRAUCHERSCHUTZ / BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, INFRASTRUKTUR, VERKEHR UND TECHNOLOGIE / OBERSTE BAUBEHÖRDE IM BAYERISCHEN STAATSMINISTERIUM DES INNERN (2011). *Leitfaden Energienutzungsplan*, München 2011, URL : <http://www.verwaltung.bayern.de/Gesamtliste-.613.4011133/index.htm>

BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, INFRASTRUKTUR, VERKEHR UND TECHNOLOGIE (2010a). Bayerischer Geo-

thermieatlas, München 2010, URL: http://www.stmwivt.bayern.de/pdf/energie-und-rohstoffe/Bayerischer_Geothermieatlas.pdf

BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT, INFRASTRUKTUR, VERKEHR UND TECHNOLOGIE (2010b). Bayerischer Windatlas, München 2010, URL: http://www.stmwivt.bayern.de/fileadmin/Web-Dateien/Dokumente/energie-und-rohstoffe/Bayerischer_Windatlas.pdf

Planification des Transports et de l'usage du sol : le cas de la région Ile-de-France

Transportation planning and land use : the case of the Ile-de-France

J. Laterrasse¹

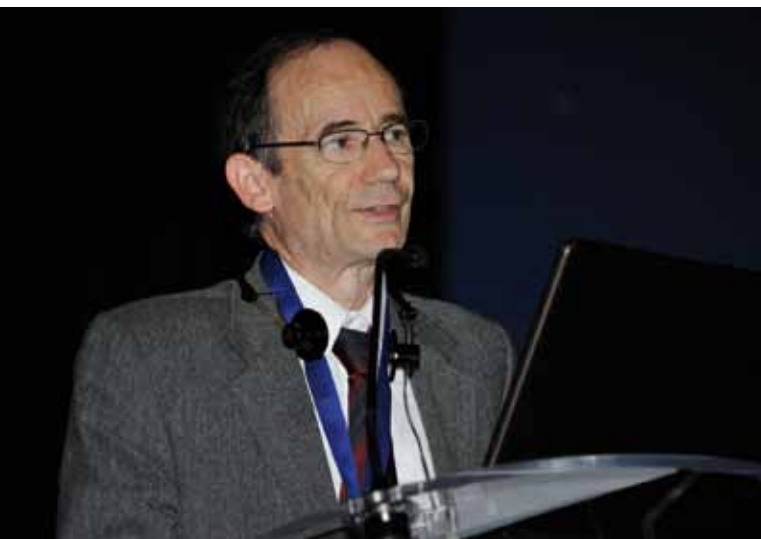
Après qu'ait été effectué un diagnostic des principales caractéristiques de la Région Ile-de-France au regard des défis de l'avenir, plusieurs scénarios d'évolution sont simulés. L'utilisation de deux méthodes complémentaires – l'une mettant l'accent sur les comportements des agents et la modélisation de leurs univers de choix, l'autre sur les articulations entre réseaux de transport et agencement de l'espace –, aboutit à résultats cohérents. Un scénario combinant densification en première couronne et polycentrisme en deuxième couronne semble, notamment du point de vue des performances des réseaux de transport, constituer un compromis raisonnable entre compacité et étalement urbain.

After carrying out a diagnostic of the Paris region's principal future challenges, several scenarios are simulated. Two complementary methods – one modelling agents range of choices and emphasizing their behaviour and the other focusing on the relationship between transport networks and development patterns – produce coherent results. From a transport network performance perspective, a scenario combining densification of the inner suburbs with polycentrism in the outer suburbs seems to be a reasonable compromise between compactness and urban sprawl.

Mots-clé : Planification, dynamiques spatiales, métropolisation, développement soutenable

Keywords : Planning, spatial dynamics, metropolization, sustainable development

¹ Laboratoire Ville Mobilité Transport – Université Paris Est - Cité Descartes - 19 rue Nobel - Champs / Marne, Marne la Vallée, cedex 2
jean.laterrasse@umlv.fr



Jean Laterrasse — PHOTO F. DOR

Le diagnostic

Avec 37 millions de déplacements par jour ouvrable, soit 3.6 déplacements par jour et par habitant, dont plus de 24 millions utilisent un mode « mécanisé » (VP, TC, ou deux roues motorisées), l'Ile de France (agglomération parisienne) est un exemple de mobilité individuelle élevée, qui s'accompagne de difficultés en termes d'accessibilité et de nuisances environnementales. Du point de vue de la localisation respective des activités (et donc de l'emploi) et des résidences, sa structure spatiale est marquée par un double déséquilibre : entre le centre et la périphérie, d'une part, entre l'ouest et l'est de l'agglomération d'autre part.

D'un point de vue général, le nombre moyen de déplacements effectués par chaque Francilien un jour de semaine est sensiblement au même niveau qu'en 1976, soit 3,5 déplacements par jour et par personne de six ans ou plus. Cependant, si on s'attache à com-

parer les différents modes de transports, on constate que le nombre de déplacements en véhicule particulier (VP) a augmenté alors que le nombre de déplacements en transports collectifs (TC) a stagné. L'étude de la part modale des TC et des VP laisse apparaître des évolutions différenciées selon les zones et les motifs de déplacements² :

- les TC sont majoritaires par rapport à la VP pour les déplacements ayant au moins une extrémité à Paris. Ce constat a tendance à se renforcer. Ainsi, les déplacements ayant une ou deux extrémités dans Paris représentent 62 % des déplacements en TC ;
- parallèlement, les parts modales TC les plus faibles concernent les déplacements en banlieue ;
- si on affine la représentation géographique en distinguant trois zones distinctes de déplacements: Paris, Petite Couronne (départements limitrophes à Paris, notée PC ci-après) et Grande Couronne (zone périurbaine, notée GC ci-après), l'analyse conduit à souligner le poids des déplacements en rocade, majoritaires en terme de kilomètres parcourus. Les déplacements intra-communaux apparaissent quant à eux relativement moins importants (23 % en nombre, mais seulement 4% en distance pour la banlieue) alors que les longues liaisons radiales et les liaisons transversales occupent désormais une part croissante.

De manière générale, l'étude des parts modales, en termes de nombre de déplacements et plus encore de kilomètres parcourus (figure 1) révèle une utilisation faible des TC sur les déplacements qui tendanciellement augmentent le plus. C'est le cas des déplacements en rocade pour lesquels la part modale des TC est faible et tend à diminuer. Mais c'est aussi le cas des déplacements radiaux de longue portée : la structure radio-centrique des infrastructures lourdes de transport collectif perd beaucoup de son efficacité au fur et à mesure qu'on s'éloigne du centre de l'agglomération. En clair, la structure des transports collectifs apparaît peu adaptée aux nouveaux comportements de déplacements des Franciliens.

² Les déplacements font depuis 1975 en Ile-de-France l'objet d'enquêtes régulières, environ tous les sept à huit ans, selon des méthodologies bien établies fixées par l'INSEE. Ces enquêtes sont financées par plusieurs partenaires, dont l'Etat et la Région Ile de France.

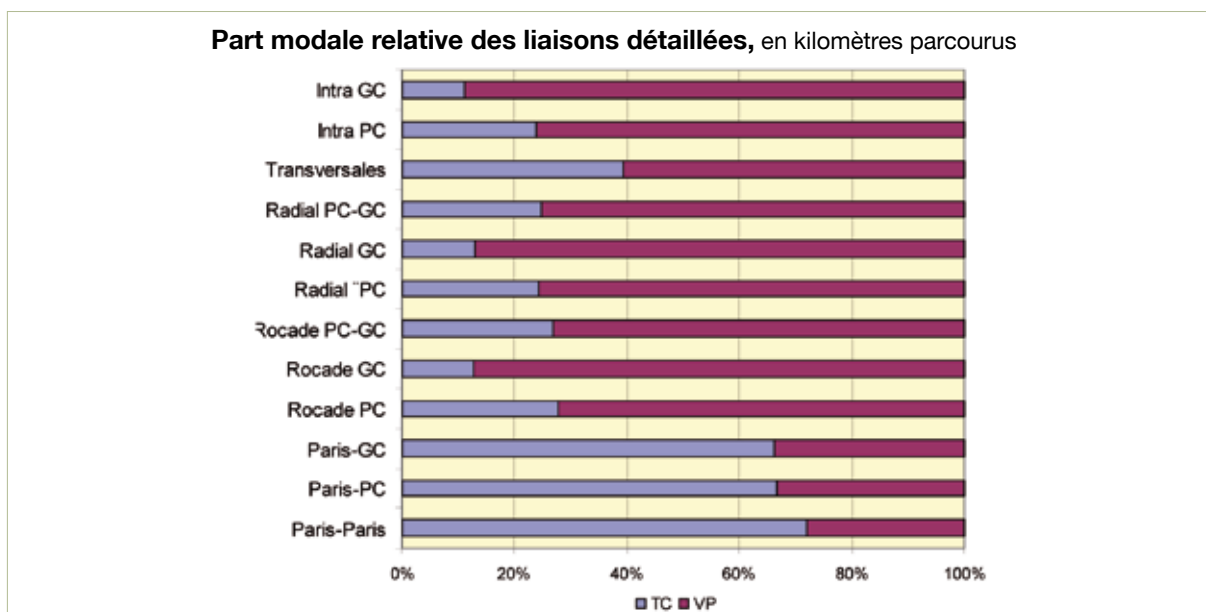


Fig. 1 répartition des parts modales selon les destinations géographiques au sein de l'Île-de-France reconstituée à partir des résultats de l'enquête Transport de 2001.

Un autre élément à prendre en compte dans ce constat est la situation du logement, caractérisée de manière chronique par une offre insuffisante, laquelle a pour conséquence un marché peu fluide, que ce soit en accession ou à la location. Cette rigidité apparaît comme une cause importante de l'augmentation tendancielle des déplacements domicile-travail [1].

Comme dans d'autres métropoles, l'évolution des modes de vie contribue également à l'usage intensif des véhicules particuliers : pour ce qui concerne les motifs, l'Enquête globale transport (EGT [1]) révèle que les déplacements obligés, c'est à dire entre le domicile et le travail (ou le lieu d'étude) représentent 48 % des motifs de déplacement en 2001 contre 54% en 1975, mais la part des motifs obligés dans les déplacements TC reste majoritaire avec 59% des déplacements. De plus, 80 % des 5,4 millions de déplacements mécanisés supplémentaires par rapport à 1976 ont lieu en heure creuse et utilisent principalement l'automobile. Ces éléments expliquent qu'aujourd'hui les TC ne parviennent plus à répondre aux évolutions spatiales et temporelles des flux. De fait, le desing du réseau de TC remonte à cent ans dans le cas du métro et

à cinquante ans dans le cas du Réseau Express Régional (RER). D'où l'importance stratégique du débat engagé aujourd'hui sur le devenir du réseau de TC à l'horizon 2030 en lien avec l'évolution supposée ou souhaitée du « Grand Paris ». C'est dans ce contexte que deux schémas s'affrontent : celui proposé par la Région dans le cadre du Schéma directeur pour l'Île de France (SDRIF) avec le soutien des principales collectivités territoriales, vise principalement à mailler le réseau d'infrastructures lourdes de transports collectifs à une distance d'environ cinq kilomètres à l'intérieur de la petite couronne, en s'attachant à mieux structurer l'existant ; celui plus récemment proposé par l'Etat, - appelé parfois le « grand huit » du fait d'un axe transversal nord-sud traversant Paris -, se réclame d'une vision davantage tournée vers l'avenir, mais sans que les effets potentiels, notamment en matière d'urbanisme, n'en aient été vraiment étudiés.

Les considérations qui suivent, s'appuyant sur des travaux qui ont permis de simuler à l'horizon des prochaines décennies des scénarios d'évolution possible de la métropole francilienne, s'efforcent d'éclairer les éléments de ce débat.

Une analyse prospective des flux de déplacements à l'horizon 2050

Le contexte de l'étude

Cette analyse s'est inscrite à l'origine dans une réflexion plus globale engagée par les autorités publiques nationales autour d'une prospective des consommations d'énergie à l'horizon 2050³. Nous avons réagi à l'époque, et avec nous plusieurs opérateurs de transport public dont la SNCF, au fait que l'ensemble des scénarios envisagés alors dans le cadre d'une prospective de la mobilité à l'horizon 2050 étaient basés sur une hypothèse de stabilité des parts modales des véhicules particuliers et des transports collectifs à l'horizon 2050. Autrement dit, ces scénarios partaient tous de l'idée que le modèle de mobilité à l'échelle métropolitaine qui s'était imposé depuis le lendemain de la seconde guerre mondiale, modèle dominé par le recours massif à l'utilisation de l'automobile comme mode de transport individuel, devait perdurer.

Cette idée nous a paru fortement contestable pour plusieurs raisons :

- tout d'abord, les études internationales témoignent que la part modale des transports collectifs varie beaucoup d'un pays à l'autre, preuve si besoin était qu'elle n'a rien d'intangible: grosso modo, aux Etats Unis, la part des TC est de 2 à 10%, un peu plus au Canada (moyenne pour l'Amérique du Nord : 6%); en Europe de l'Ouest, on trouve une fourchette de 12 à 34 % (moyenne : 25%); en Europe de l'Est, cette part peut atteindre 60%, et dans les villes asiatiques, 80%. Pour les cinq agglomérations françaises recensées dans la base UITP (Lille, Lyon, Nantes, Marseille, Paris)⁴, la moyenne est par comparaison de 18%, et de l'ordre de 12% en faisant abstraction de Paris. Seule, l'agglomération parisienne est dans la moyenne des agglomérations européennes⁵.

Pour ce qui est de l'utilisation des modes doux, le constat est analogue ;

- pour asseoir l'hypothèse de stabilité des parts modales, les scénarios retenus postulaient que « l'augmentation du prix d'usage de la voiture particulière resterait inférieure à l'augmentation du revenu disponible des ménages ». Mais là encore cette hypothèse paraît peu raisonnable lorsque tous les éléments d'analyse – que ce soit en termes de coûts de production de l'énergie ou de risques liés au changement climatique –, conduisent inéluctablement à un renchérissement de l'énergie. La sophistication des technologies, visant à réduire les consommations unitaires, apparaît elle-même difficilement compatible avec une stabilisation des coûts d'usage ;
- enfin, les scénarios retenus postulaient que « le coût de la mobilité ne constituait pas un facteur limitant pour les ménages ». Cette vision optimiste n'est pas corroborée par l'examen des évolutions récentes : l'analyse des dépenses des ménages en France (enquêtes budget des familles de l'INSEE) tend à montrer que la part des dépenses des ménages pour le transport, après avoir progressé dans les années soixante et soixante-dix, stagne maintenant à un niveau moyen de 15% des dépenses totales, ce qui est déjà considérable. Les transports constituent aujourd'hui immédiatement après le logement (environ 23% des dépenses) et à quasi-égalité avec l'alimentation, un des trois principaux postes de dépense des ménages. On peut donc logiquement se demander si, au moins pour les ménages modestes (c'est-à-dire une bonne moitié des ménages français), un plafond n'est pas atteint, surtout dans le contexte français marqué par une pénurie de l'offre de logement et une augmentation tendancielle nettement orientée à la

3 Groupe de travail sur le « facteur 4 » mis en place en 2004 par le Ministère délégué à l'Industrie et le Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable.

4 La base de l'Union Internationale des Transports publics (UITP) recense les caractéristiques des systèmes de déplacement et les principales données socio-économiques de 34 villes européennes (2001).

5 Selon une enquête réalisée par « Index international Kelly Services » en avril 2007 dans 28 pays européens, la France arriverait au 26ème rang en Europe pour le nombre de personnes qui déclarent avoir la possibilité d'utiliser les transports collectifs pour se rendre sur leur lieu de travail.

hausse des prix immobiliers, que ce soit en location ou en accession à la propriété.

En fait, l'apparente stabilité des parts modales dont prenait argument les scénarios retenus cache des évolutions considérables, aussi bien sur l'évolution de la demande de transport (développement de l'urbanisation et de l'étalement urbain, desserrement de la localisation des emplois et des activités) que sur l'évolution de la structure de l'offre (augmentation importante du taux de motorisation, réalisation d'infrastructures rapides privilégiant fortement l'usage de la voiture et une urbanisation extensive, renforcement significatif mais insuffisant de l'offre TC)... La question des politiques d'urbanisation et/ou de gestion des zones urbanisées reste un enjeu majeur, et à notre avis, elle doit être placée au centre de toute étude prospective sur les transports. Or l'horizon du demi-siècle à venir est une échelle temporelle qui permet, voire qui doit conduire à réinterroger les politiques d'occupation de l'espace et leur corrélation avec l'utilisation intensive de l'automobile. Infléchir ces politiques pour mieux articuler urbanisation et utilisation du transport collectif, non seulement apparaît souhaitable, mais constitue une composante forte de toute politique visant à inscrire notre société dans la perspective d'un développement urbain soutenable. La préoccupation que, dans un contexte de renchérissement de l'énergie, les catégories modestes ne soient pas fortement pénalisées dans leur accès à la mobilité, fait intégralement partie de cette démarche. Comment en effet concilier équité d'accès à la mobilité avec un ralentissement de la consommation d'énergie sinon en s'appuyant beaucoup plus fortement sur l'utilisation des transports collectifs et de manière complémentaire, des modes doux, marche à pied comprise ?

Les hypothèses retenues pour la constitution d'un « scénario cible »

A partir de cet objectif central, le « scénario cible » que nous avons proposé⁶ intègre les caractéristiques suivantes :

- s'agissant de l'évolution du prix de l'énergie et des technologies propres, il est basé sur l'hypothèse

d'un renchérissement significatif de l'usage de la voiture ;

- plus généralement, le « scénario cible » s'appuiera sur une tarification différenciée de l'espace public suivant le mode de transport utilisé. En Région Ile-de-France par exemple, en définissant la zone de pertinence des TC comme celle où les coûts des TC sont pour la collectivité inférieurs aux coûts générés par la VP, on constate que cette zone est sensiblement plus vaste que celle où la part modale des TC est majoritaire [2]. En d'autres termes, cela signifie une utilisation de la voiture au-delà des situations où celle-ci s'imposerait de manière rationnelle. Ce constat vaut a fortiori pour la province, où le partage modal est nettement plus défavorable aux TC. C'est ce constat qui justifie notamment que dans plusieurs villes européennes soit mis en œuvre ou envisagés l'instauration de péages urbains. Notons que les péages ne constituent pas la seule solution pour la tarification de l'usage de l'espace public : on peut également envisager une tarification différenciée du stationnement, ce qui offre l'avantage d'une plus grande souplesse, d'une meilleure équité spatiale et d'une meilleure adaptabilité à l'offre réelle de transports publics (via par exemple le développement des parcs-relais). Le « scénario cible » prend en compte ce type de tarification ; globalement, il envisage d'aller progressivement vers un doublement du niveau actuel du prix d'usage de la voiture dans les zones où les TC constituent une véritable alternative (cette évolution intégrant celle du prix prévisible du prix de l'énergie) ;
- dans une région comme l'Ile-de-France, où les usagers ne paient qu'une part relativement faible (inférieure à 30%) du coût des transports publics, les marges pour des politiques d'incitation tarifaire sont faibles ; en revanche, des marges importantes existent, cela a été rappelé plus haut -, pour une évolution de l'offre de transport collectif : on peut obtenir des transferts modaux significatifs en renforçant la consistance de l'offre, d'une part en agissant là où c'est possible sur la fréquence des dessertes, d'autre part et surtout en maillant le réseau ferroviaire, comme cela a été fait depuis une

⁶ L'étude dont il est ici question a été réalisée en 2008 par J.Laterrasse, O.Morellet, F.Potier et A.Byrd, et financée par la direction de la Stratégie de la SNCF.

bonne trentaine d'années pour les infrastructures routières. Comme noté précédemment, la structure radio-centrique des réseaux lourds de TC est en effet en contradiction avec la croissance des flux périphériques, qu'a entraîné le double mouvement d'étalement des résidences et de desserrement de l'emploi. Il paraît fortement souhaitable de privilégier pour les années qui viennent les projets de tangentiels et de rocares permettant de rendre ces modes de transport plus compétitifs par rapport à la voiture. Une telle politique suppose certes des investissements importants, mais pas plus que ceux qui ont été jusqu'ici consacrés à la route, et elle peut apporter des effets significatifs à échéance de vingt ou trente ans ;

- enfin, le « scénario cible » prend en compte une évolution des structures urbaines plus favorable au développement des transports collectifs et à leur utilisation. Les actions à engager ici concernent la mise en œuvre de politiques urbaines visant à une mise en cohérence de la planification des infrastructures de transport et de l'occupation des sols, pour ce qui concerne la localisation des résidences, et plus encore la localisation de l'emploi et des services, cette dernière devant se faire de manière privilégiée dans les pôles urbains bien desservis par les transports collectifs. Si en effet dans un pays comme la France un retour en arrière en terme d'expansion urbaine est difficile à envisager, il n'est pas trop tard en revanche pour arrêter l'étalement (déjà très conséquent) et pour densifier les zones actuelles ou futures bien desservies par les TC, en veillant autant que possible à préserver – ou à reconstituer – mixité fonctionnelle et mixité sociale. Indiquons que de ce point de vue, l'utilisation de certaines emprises ferroviaires en zone urbaine peut créer des opportunités tout à fait intéressantes pour combiner des opérations de renforcement de l'offre TC et de densification. Cette figure urbaine – on pourrait la qualifier de « ville cohérente » [3,4] –, qui permettrait de dépasser l'opposition traditionnelle entre ville dense et ville étalée,

peut constituer (en prenant différentes formes) un objectif tout à fait envisageable pour les villes françaises et concilier prise en compte de l'évolution des modes de vie (avec notamment l'aspiration à des logements plus spacieux) et utilisation plus intensive des TC.

Méthode utilisée pour la simulation du scénario

Du point de vue de l'évolution de la structure urbaine, le scénario-cible peut se résumer de la manière suivante :

- le maintien d'un noyau central de l'agglomération non seulement dense, mais consistant du point de vue des activités et des services, et donc de la localisation de l'emploi ;
- une intégration partielle de la banlieue actuelle dans une zone centrale élargie, avec, du fait du maillage des infrastructures ferroviaires lourdes, une couverture des réseaux de TC analogue à celle que présente actuellement la zone centrale ;
- une organisation périurbaine multipolaire favorisant une densification relative autour de pôles secondaires bien desservis par les TC (notamment le mode ferroviaire) et permettant d'utiliser dans de bonnes conditions la pluri-modalité (parcs de rabattement attractifs...).

En 2004, notre laboratoire avait déjà été sollicité par le Ministère de l'Ecologie et du Développement Durable pour simuler les scénarios que ce dernier avait imaginés, scénarios s'inscrivant dans différents contextes géopolitiques, mais procédant tous, comme noté plus haut, du postulat selon lequel le modèle de mobilité urbaine aujourd'hui constaté, basé sur un important recours à l'« automobilité » en dehors de Paris intra muros, était appelé à perdurer. Nous avons alors utilisé le modèle MATISSE, qui est un modèle systémique de comportement des ménages, développé à l'INRETS⁷ par O. Morellet [5]. Nous utilisons ici le même modèle, ce qui, au-delà de la pertinence de ce choix compte tenu de la place centrale des comportements des ménages dans la problématique explorée, assure

⁷ Le modèle MATISSE, conçu par O. Morellet, est un modèle permet de prendre en compte les caractéristiques socio-économiques des ménages, leur comportement de déplacement vers différents lieux de séjours ou d'activité, leur niveau d'équipement et leurs changements éventuels de résidence. Il permet également de prendre en compte des variables liées à des politiques publiques (politiques tarifaires, évolution du prix de l'énergie,...). Dans sa version la plus récente, il prend également en compte certains effets liés à l'évolution du marché immobilier [5].

la comparabilité des résultats. Notons que ce modèle n'est pas un modèle géographique : les paramètres pertinents pour représenter les évolutions de la structure conjointe du tissu urbain et des infrastructures de transport ne sont ici décrits que de manière sommaire. Il s'agit notamment, du fait de l'importance du facteur temps dans les problématiques de choix modal [2] des vitesses différentielles des différents modes, et principalement ici des transports collectifs et de la voiture. Précisons en outre que ces paramètres ne sont pas des données d'entrée, mais qu'ils sont calculés à partir d'un ensemble de déterminants qui concernent les performances des réseaux sur les différents éléments des chaînes de déplacement et les caractéristiques spatio-temporelles de ces déplacements.

De manière plus précise, les éléments suivants ont été retenus pour le « scénario cible » à l'horizon 2050 :

- multiplication par deux du prix d'usage des VP ;
- pour ce qui est de la tarification d'usage de l'espace, nous avons retenu une tarification différenciée du stationnement, qui évolue en proportion des coûts liés à l'utilisation de la VP pour la collectivité entre 2,5 fois le niveau actuel (notamment au centre de l'agglomération) au statut quo (notamment dans les zones périphériques, mal desservies par les TC).

Pour simuler les évolutions de la structure de l'offre et de la demande de déplacement, nous utilisons un découpage de l'espace urbain en trois zones, comme déjà proposé plus haut : centre, petite couronne (banlieue), grande couronne (périphérie). Ce découpage est au demeurant justifié par le caractère fortement mono-centrique de la métropole parisienne.

Pour le « scénario cible », nous retiendrons de manière générale, les objectifs suivants :

- égalité des vitesses TC et VP sur les déplacements radiaux à partir de la ville-centre et sur un « noyau central » constitué par la ville-centre et sa première couronne ;
- vitesse VP ne pouvant excéder de plus de 50% la vitesse de déplacement TC pour les déplacements en grande couronne ou entre la banlieue et la grande couronne.

Insistons sur le fait que dans la démarche qui est ici la nôtre, il ne s'agit pas de pénaliser les déplacements

en voiture, mais plutôt d'élever les performances des TC pour les rendre pleinement compétitifs en terme de choix modal : l'objectif est de maintenir la mobilité à un niveau élevé, compatible avec une activité soutenue et favorable à l'emploi, en minimisant la consommation d'énergie.

Tout en étant volontariste, ce scénario reste réaliste. Il n'implique pas un changement complet d'orientation dans l'aménagement urbain, mais une action continue dans la durée pour renforcer, à périmètre constant, la cohérence entre aménagement et réseaux de déplacements.

Résultats obtenus

Pour l'Ile-de-France, la part modale des TC passe à l'horizon 2050 de 29 à 38%, soit une progression d'environ 31%. Pour la province, où la part modale des TC est beaucoup plus faible, des simulations basées sur les mêmes hypothèses aboutissent à une évolution des parts modales des TC de 8% à 19%, soit, en moyenne nationale, ce scénario à une progression de 12% à 23%, c'est à dire à un quasi doublement de la part TC.

En outre, le nombre total de déplacements simulés par le modèle avec le « scénario cible » montre que celui-ci est légèrement supérieur au meilleur des scénarios basés sur un maintien des parts modales et du prix d'usage de la voiture individuelle. En d'autres termes, ce résultat tend à montrer qu'on peut significativement augmenter le prix d'usage de la VP sans pour autant dégrader la mobilité, dès lors qu'on s'appuie sur des réseaux de transports collectifs accessibles et performants, à condition, rappelons-le, que celle-ci soit accompagnée d'une évolution cohérente de l'organisation urbaine.

Des tests de sensibilité montrent que les gains de ce scénario en terme de répartition modale sont pour moitié dus à l'ensemble constitué par les mesures tarifaires (augmentation du prix de l'énergie, tarification d'usage de l'espace public) et l'augmentation de l'offre TC, et pour une autre moitié, au renforcement de la cohérence entre transports et usage des sols. Autrement dit, la question de la cohérence spatiale de l'aménagement urbain apparaît bien comme une variable d'action essentielle.

Cette étude confirme à notre sens qu'un doublement, voire plus, de la part modale des TC est envisageable pour les prochaines décennies dans un pays comme la France, sans bouleversement majeur ni des modes de vie, ni de l'organisation urbaine, et sans dégradation de l'efficacité globale du système de déplacements, indispensable pour l'activité économique et sociale.

Il va de soi que ces résultats ne préjugent pas de l'acceptabilité sociale ou politique de telle ou telle mesure. Selon toute vraisemblance, une démarche de ce type aurait d'autant plus de chances d'être acceptée d'une part que les enjeux en apparaîtraient clairement, et d'autre part, que l'amélioration de l'offre TC accompagnerait, - et en tout premier lieu pour les catégories sociales les plus modestes -, le renchérissement de l'usage des VP. L'étude tend alors à montrer qu'une telle démarche, associant dans la durée développement de l'offre TC et renchérissement de l'usage de la voiture, apparaît compatible avec une progression de la mobilité, et que celle-ci se fait alors de manière plus équitable.

Indiquons que d'autres mesures d'accompagnement seraient vraisemblablement nécessaires : ainsi, l'augmentation sensible de la part des TC avec le « scénario cible » suppose que le différentiel des vitesses entre TC et VP s'améliore au bénéfice des TC. Or, en toute logique, il est prévisible qu'un trafic moins important, c'est aussi moins de congestion, et donc des vitesses VP qui tendent à augmenter. Une politique de régulation de la vitesse des VP sera donc vraisemblablement nécessaire dans la durée ; elle pourrait s'appuyer par exemple sur un rééquilibrage du partage de la voirie en faveur des TC.

L'équation financière

Reste naturellement la question du financement du « scénario cible ». Elle demanderait une étude spécifique. Plusieurs éléments de réponse peuvent être cependant apportés. Tout d'abord, le « scénario cible » n'implique pas une baisse des taxes et redevances prélevées sur l'utilisation de l'automobile : la diminution des véhicules x km est en effet compensée par le renchérissement de l'utilisation de la VP qui peut prendre différentes voies (taxe carbone et/ou augmentation mécanique des recettes de la TIPP lié à l'augmentation du prix de l'énergie...) ; la tari-

fication de l'usage de l'espace public peut quant à elle générer dans la durée de nouvelles ressources dont nous avons pu calculer qu'elles sont loin d'être négligeables.

Le « scénario cible » s'accompagne en outre d'une utilisation plus intensive des TC, ce qui doit être favorable non seulement à la rentrée de recettes nouvelles, mais à des gains significatifs de productivité. Ensuite, une estimation basée sur la densité des réseaux permettant de généraliser progressivement à la banlieue le niveau d'équipements TC des villes-centres conduit à une multiplication du niveau d'investissement par un facteur de 1,5 à 2, accompagné d'une réorientation partielle de ces investissements en faveur des banlieues. Rappelons que, dans un pays comme la France, le niveau de l'investissement en faveur des transports collectifs urbains reste aujourd'hui, tous contributeurs confondus, relativement modeste au regard des budgets consentis pour leur fonctionnement.

L'effort à accomplir sera d'autant mieux maîtrisé que les opérations de régénéscence urbaine permettront une occupation plus rationnelle de l'espace. Il devrait pouvoir être financé pour une part par un redéploiement des crédits affectés aux routes en zone urbanisée. Au-delà du nécessaire renforcement du maillage des infrastructures ferroviaires à la périphérie des grandes agglomérations, le recours à des sites propres - notamment réseaux de bus à haut niveau de services, pouvant être ultérieurement là où le trafic le justifie transformé en tramway -, apparaît un moyen particulièrement bien adapté, à la fois pour une montée en puissance rapide des réseaux de banlieue et pour une régulation corrélative de l'usage de la voiture. Enfin, la conduite de cet effort suppose que l'Etat y participe, soit par une contribution significative, soit par un transfert de ressources (un transfert partiel de la TIPP semblerait particulièrement judicieux ; celle-ci constitue en effet la recette essentielle liée au transport, et il est discutable qu'à un moment où une part croissante des charges de transport pèse sur les collectivités territoriales, cette ressource ne soit pas mieux répartie, tout comme d'ailleurs celle des amendes liées à la circulation et au stationnement).

Densification homogène ou densification ciblée ?

Dans l'étude qui précède, nous avons privilégié une approche socio-économique, et nous nous sommes contentés d'une description géographique très sommaire. Dans ce qui suit, nous nous attacherons au contraire à affiner cette description, en nous efforçant de mettre en évidence différentes variantes du scénario défini précédemment comme le « scénario cible ». A cet effet, nous distinguerons en particulier deux scénarios qui, tout en respectant le schéma polycentrique d'urbanisation décidé en 1965 avec le développement des villes nouvelles, se différencient dans la localisation des développements urbains : le parti « DH », de densification homogène », intensifie la densité dans la zone la plus urbanisée, composée de Paris et la Petite Couronne ; le parti « DC », de « densification ciblée », reporte une partie de la croissance urbaine sur les pôles suburbains bien desservis par les transports collectifs, afin d'y accroître la masse des activités, et d'en faire de réels pôles d'attraction.

En combinant une projection démographique spatialisée et une simulation de la demande de transport, nous avons analysé ces scénarios et comparé leurs effets respectifs⁸. L'approche utilisée dans cette seconde étude relève d'abord de la géographie, pour la localisation des activités, la formation des besoins de déplacement à partir de la configuration des activités, et l'inscription spatiale des courants de trafic. Elle s'appuie également sur une étude démographique : nous avons simulé l'évolution de la population et celle des emplois, ainsi que l'évolution du taux d'activité professionnelle, pour l'ensemble du territoire régional, avant de procéder à la répartition spatiale de ces données, selon le parti d'aménagement. Pour ce qui est de l'affectation des déplacements générés sur les différents réseaux réalisés ou en projet, nous avons utilisé le modèle d'affectation « Modus »⁹. Enfin nous avons conçu une batterie d'indicateurs pour synthétiser certains effets sensibles en matière de développement durable et pour comparer les deux scénarios investigués: indica-

teurs d'espacement entre les domiciles et les emplois, indicateurs de consommation de transport, indicateurs d'accessibilité territoriale.

La situation de référence

L'étude mentionnée précédemment a pris comme référence la situation en 2004. Son objectif est de prospecter de manière intégrée l'évolution de l'usage du sol et des transports, pour l'Ile de France entre 2004 et 2030, la limitation en 2030 provenant du fait que les éléments de planification disponibles ne vont pas au-delà de cet horizon.

Les bases de données cartographiques dites du Mode d'Occupation du Sol (MOS) ont été établies par l'Institut d'Aménagement et d'Urbanisme de l'Ile de France (IAU-IdF) pour les années 1982, 1990 et 1999. Elles nous permettent de retracer objectivement l'évolution du territoire francilien, et d'intégrer l'évolution de la population et des emplois grâce aux données des recensements de population. Pour l'année de référence 2004, nous disposons aussi des bases de données sur les transports et les déplacements, établies par la DREIF dans le cadre du modèle Modus.

Dès 1965, le schéma directeur avait prôné la création de « centres urbains nouveaux », le choix de zones préférentielles d'extension urbaine autour d'axes de transports structurants, et la cohérence d'ensemble de la région urbaine, comme principes pour répondre à la croissance démographique et économique et aux évolutions sociales marquées par l'augmentation du « temps libre » et du pouvoir d'achat. Le schéma directeur de 1976 avait ensuite quantifié les besoins de surface selon les zones d'extension urbaine, et prévu corrélativement le développement de liaisons radiales et périphériques : non seulement routières en cette période de diffusion rapide de l'automobile, mais aussi de transports collectifs (TC), en concomitance avec

⁸ Cette étude a été réalisée par Th.Aw, J.Laterrasse et F.Leurent [6]. Elle a en particulier fait l'objet de la thèse de doctorat de Th.Aw (soutenue à l'université Paris est en décembre 2010).

⁹ Modèle développé par la direction régionale de l'Équipement de la région Ile de France (DREIF).

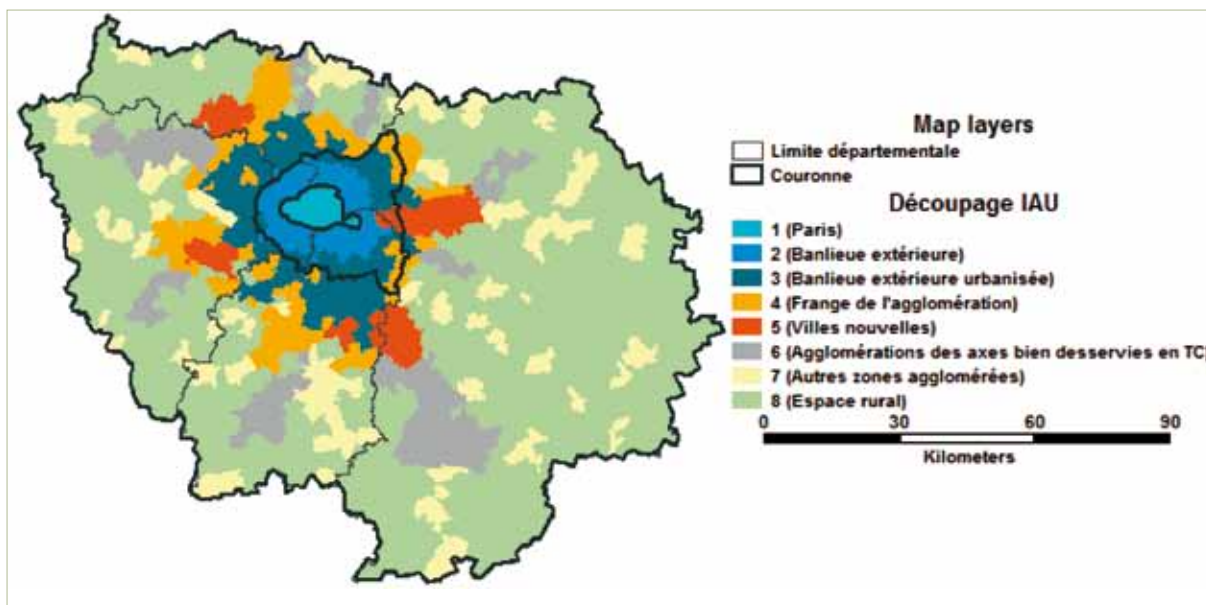


Fig 2. Secteurs morphologiques IAU et découpage administratif en Ile-de-France, 1999

l'interconnexion des lignes A et B du Réseau Express Régional et plus largement, l'intégration des lignes ferrées, sans toutefois modifier le caractère radial dominant du réseau « lourd » de TC.

Le schéma directeur de 1994 a encore précisé la spécialisation des espaces, en promouvant une hiérarchie des pôles urbains favorable aux villes nouvelles, ainsi qu'une protection pour certains espaces naturels ; en matière de transport, le besoin de liaisons tangentielles a été reconnu, et les réalisations ont été plus rapides pour le réseau routier que pour les réseaux ferrés. Dernièrement, le schéma directeur de 2007, le SDRIF, a réaffirmé les objectifs précédents, et insisté particulièrement sur les enjeux de la *protection environnementale et la maîtrise de l'étalement urbain*, de la *promotion de l'égalité territoriale et de la cohésion sociale*, d'un *meilleur rééquilibrage entre les fonctions résidentielles et économiques*, afin de favoriser l'équité sociale et territoriale.

Le territoire francilien couvre une superficie de 12 000 km², dont 20% d'espaces urbanisés et 5% d'espaces densément urbanisés (à 85%) en 1999. Les 20% d'es-

pace urbanisé se répartissent en 7% d'habitat individuel, 2% d'habitat collectif, 5% d'espace ouvert, 2% pour l'activité productive, 2% pour les équipements et 2% pour les transports. La figure 2 montre la répartition du territoire par secteur morphologique au sens de l'IAU-IdF, basé sur la densité d'établissement et le degré d'artificialisation du sol.

Dynamiques d'expansion urbaine et réseaux de transport

De 1982 à 1999, l'urbanisation a concerné minoritairement la petite couronne (2 400 hectares construits) et principalement la grande couronne (27 300 ha construits), pour accueillir les surplus de population et d'emplois. Une moitié (47%) de l'urbanisation nouvelle en périphérie est effectuée dans les villes nouvelles : ce 1% de l'espace régional a été urbanisé pour moitié à Cergy-Pontoise et à Marne la Vallée. Cette dernière et Melun-Sénart sont les seules villes nouvelles où l'espace disponible pour l'urbanisation reste majoritaire.

L'extension urbaine se décompose sur la période à 40% pour l'habitat, dont 35% pour l'habitat individuel, à 18%

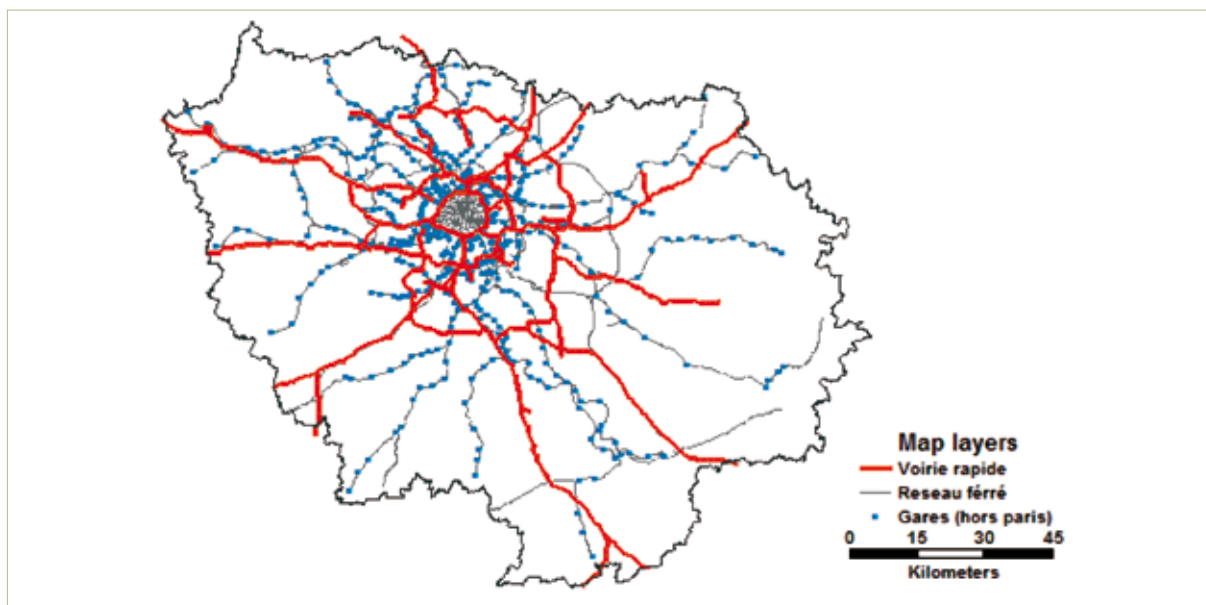


Fig 3. Cartes des réseaux lourds de transport — DONNÉES DREIF

pour les espaces urbains ouverts, 23% pour l'activité productive et les équipements, 14% pour les transports.

De fait, non seulement l'agglomération s'est étendue vers des zones cibles, mais encore les ménages comme les entreprises ont relativement délaissé le centre au profit de la périphérie. Parallèlement à ce mouvement démographique, le système de transport a été développé plutôt en périphérie pour la route, plutôt en liaison radiale pour les TC où le surcroît d'offre entre 1990 et 2000 n'a permis que de maintenir le trafic, pas de l'accroître (figure 3). Le développement des TC a donc eu pour principal effet le maintien de l'attractivité du centre, mais aussi d'inciter à l'utilisation des liaisons radiales entre pôles éloignés, au lieu de canaliser des déplacements à moyenne distance en périphérie.

Les réseaux franciliens de transport acheminent des flux de déplacements selon une logique principalement à courte et moyenne distance pour l'automobile, ou mixte pour les transports collectifs, dont la matrice origine-destination journalière atteste aussi de la fonction radiale depuis et vers Paris. La simulation des trafics

routiers à l'heure de pointe du soir (moyenne horaire entre 17h30 et 19h30) au moyen du modèle Modus-2 de la DREIF ainsi que l'enregistrement des distances parcourues et des temps passés par secteur d'urbanisation montre que la banlieue urbanisée proche supporte 40% des véh.km pour 46% des véh.h. Le réseau routier rapide supporte quant à lui 35% des véh.h et 55% des véh.km, ce qui démontre son rôle majeur dans le franchissement d'espace.

Un polycentrisme inabouti

Le polycentrisme se définit notamment par la pluralité des centres urbains sur le territoire, et par l'intensité des synergies entre les centres. En Ile de France, la localisation des populations tout comme celle des emplois manifeste l'existence de plusieurs pôles : Paris, La Défense et les Hauts de Seine, Roissy, Marne la Vallée (figure 5) sont des pôles importants à la fois en masse d'activité et en densité d'implantation. La superposition de plusieurs motifs d'activités, donc la multifonctionnalité, confère à un pôle massif et dense le statut d'un centre d'urbanisation. Cependant certains pôles présentent un déséquilibre local entre leur

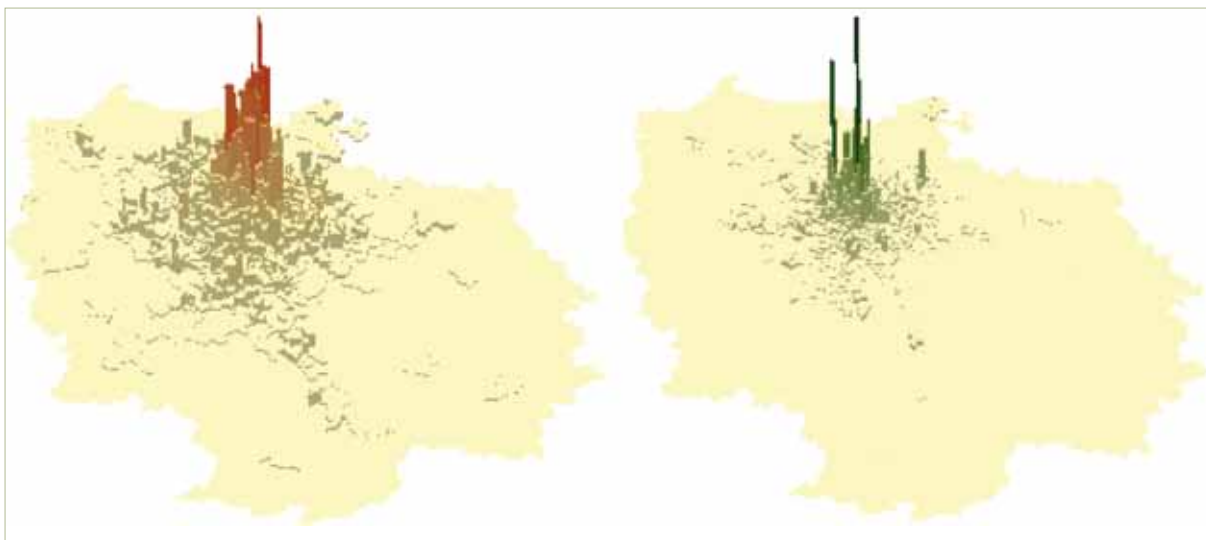


Fig 4. Représentation prismatique de la localisation de la population et de l'emploi en 2004 — SOURCE : [4]

population active occupée et leur offre d'emplois : excédent en emplois pour Paris et La Défense, déficit pour la plupart des autres. Une telle dissymétrie met en évidence que la subordination au centre principal reste forte.

Pour évaluer l'intensité des synergies, nous manquons d'indicateur pertinent. La seule information statistiquement fiable concerne les liaisons domicile-travail, d'après le recensement de population : mais la complexité de la configuration francilienne nous empêche de lui accorder un fort crédit.

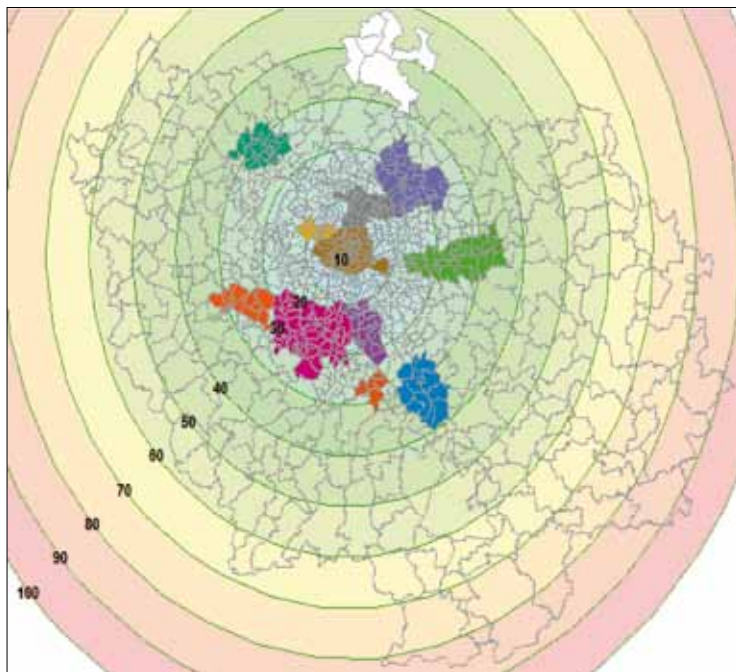
La confrontation entre les cartes d'occupation du sol (figures 4 et 5) et celles des réseaux de transport (figure 3) nous montre que l'urbanisation francilienne a pour forme une zone centrale qui désormais englobe Paris et la Petite Couronne et leurs abords immédiats, soit un disque central de rayon environ vingt kilomètres, ainsi que quelques pôles secondaires reliés au disque central par de grandes infrastructures de transport (autoroutes et voies ferroviaires) et situées à une

distance d'environ quarante kilomètres du centre donc vingt kilomètres du bord du disque central. Les axes lourds de transport supportent l'attraction métropolitaine. L'urbanisation paraît relativement maîtrisée aux confins de la zone centrale, les causes pouvant tenir à la maîtrise foncière comme aux coûts de transport en chaque lieu vers le reste de la configuration.

Scénarisation dans le temps et dans l'espace

Nous avons projeté l'évolution de l'agglomération entre 2004 et 2030 dans le temps en base annuelle, et dans l'espace selon deux logiques respectivement par secteur (couronne, département) et par pôle. Le parti d'aménagement joue sur la logique des pôles. Nous avons concilié les deux logiques spatiales à l'échelle des zones élémentaires constitués par les 1 300 fragments territoriaux distingués dans le modèle Modus-2 de la DREIF. Pour ce qui est de l'évolution démographique, a été utilisée une méthode de projection démographique spatialisée basée sur le modèle Omphale de l'Insee¹⁰ et ajoutant une focalisation par

¹⁰ On pourra à ce sujet se reporter à : Dekneudt J. (2001), *Le modèle de projection OMPHALE 2000*, Insee Méthodes, La Documentation Française, 61p.



Les zones définies comme pôles d'habitation

sont :

Evry, Marne la Vallée, Cergy, St Quentin

Les zones définies comme pôles d'emplois

sont :

La Défense, Evry, MLV, Melun, Cergy, CEE, St Quentin, Roissy, Orly, Plaine de France.

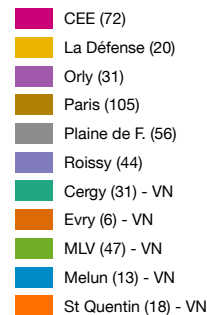


Fig 5. Pôles stratégiques d'habitation et pôles d'emplois

sous-ensemble territorial. Au niveau global de la région francilienne, nous avons supposé que la population garderait une part stable dans la population nationale, bien qu'avec une répartition par catégorie d'âge moins vieillie, et que cette dernière évoluerait conformément au scénario central de l'Insee (2006), entre une valeur basse de 64 M d'habitants et une valeur haute de 70 M en 2030, selon l'évolution du taux de fécondité.

Pour la région francilienne, la valeur centrale s'élèverait à 12,6 M d'habitant en 2030, entre une valeur basse à 12,0 et une valeur haute à 13,2 M. Nous en avons déduit les effectifs d'emplois par des hypothèses sur les taux de personnes actives (A) et occupées (O) : dans le scénario central, la région accueillerait 350 000 emplois supplémentaires entre 2004 et 2030.

S'agissant de la répartition spatiale, deux logiques, l'une par secteur et l'autre par pôle, ont été conciliées par sous-ensemble intersection d'un secteur et d'un pôle, ou complémentaire aux pôles dans un secteur. Puis l'évolution démographique a été projetée par

fragment spatial selon sa part initiale dans son sous-ensemble de rattachement.

Les grands secteurs distingués sont les départements administratifs. De manière synthétique, par couronne dans l'agglomération, il est supposé que les populations se stabiliseraient à Paris et en petite couronne, avec des taux annuels d'évolution de 0,08% et 0,20%, respectivement ; tandis qu'en grande couronne le taux d'évolution annuelle s'élèverait à 1,0%.

Nous avons distingué des pôles pour la population et pour les emplois (figure 5).

Dans la continuité des Schémas Directeurs, a été exclu d'emblée un parti d'étalement urbain non maîtrisé, et a été considéré une densification de l'espace urbanisé pour loger le surcroît démographique.

Dans le parti DH de Densification Homogène, nous privilégions l'intensification de l'urbanisation en zone déjà dense, sur un disque central depuis le centre géo-

graphique jusqu'à un rayon d'environ 24 kilomètres, et nous y répartissons l'intensification au prorata des surfaces disponibles localement. En périphérie, l'intensification procède par polarisation dans les pôles stratégiques d'aménagement.

Dans le parti DC de Densification Ciblée, nous canalisons davantage l'évolution démographique dans les pôles stratégiques, dans une couronne spatiale entre les rayons 24 et 37 km. Ainsi l'urbanisation concerne plus fortement les pôles mieux desservis par les transports collectifs.

Les hypothèses retenues quant à l'évolution des réseaux et des services de transport sont celles préconisées par le dernier Schéma directeur en date, c'est à dire celui de 2007. Elles n'intègrent par conséquent pas les récentes propositions formulées très récemment tant par la Région (projet "Arc Express" de métro de rocade en première couronne) que par l'Etat ("Grand Huit" proposé par le Secrétaire d'Etat au Grand Paris, Christian Blanc). Par rapport au « scénario cible » précédemment défini, le maillage des infrastructures lourdes de TC reste partiel.

Les simulations effectuées montrent que de 2004 à 2030, le mode automobile reste dominant en nombre de déplacements comme en distance parcourue. Cependant, comme la densification renforce les centralités locales et l'importance relative des relations de proximité, le partage modal évolue par report des modes motorisés (VP, TC) vers les modes doux que sont la marche et les deux roues, et par endroits (notamment là où le maillage TC est effectif) des reports de la VP vers les TC. Le scénario de densification ciblée procure des baisses nettes de part modale pour la voiture, pour tous les pôles d'urbanisation hormis Paris intra-muros, avec une hausse des TC, et une hausse plus sensible des circulations douces. La densification ciblée profite davantage aux modes doux que la densification homogène, même si les écarts sont réduits. Les déplacements s'effectuant par les transports collectifs augmentent proportionnellement plus vite que ne le fait la population à l'horizon 2030. Les variations les plus importantes concernent, dans le scénario de densification ciblée, les villes nouvelles, conséquence de leur massification en population et en emploi, ainsi que les franges de l'agglomération sous l'influence polarisatrice des pôles périphériques d'aménagement.

Les figures qui suivent montrent la charge de trafic sur le réseau lourd de transport collectif dans la situation de base (fig. 6a) et dans le scénario de densification ciblée à l'horizon 2030 (fig. 6b). Ce dernier se distingue avec le chargement conséquent de la tangentielle, liaison facilitant les déplacements entre zones périphériques.

L'analyse des évolutions des indicateurs de trafic par sous mode de TC montre une augmentation de 15% du nombre total de voy.km, pour une évolution en parallèle de 36% des voy.h. Les évolutions les plus conséquentes concernent le réseau de tramway qui voit son trafic multiplié par dix, avec une évolution considérable de l'offre pour compléter le maillage du réseau et accroître la performance des liaisons entre pôles périphériques.

Le trafic sur le réseau de train et de RER serait multiplié par 1.4, alors que celui du métro se stabiliserait avec le renforcement de l'offre tangentielle et de rocade, qui réduit la demande de déplacements en traversée du centre.

Pour l'ensemble des sous modes, la densification ciblée apparaît mieux encore que le scénario de densification homogène propice à l'augmentation des déplacements en mode transport collectif, exception faite toutefois du métro. Ce dernier constat s'explique par le fait que la variante homogène d'aménagement scénarise une densification de l'occupation des sols plus importante dans le centre de l'agglomération et sa périphérie proche. Il ne prétend pas à une portée générale, mais se réfère explicitement au contexte et à la configuration spécifique de l'Ile de France.

L'étude [6].a en outre considéré d'une part un indicateur d'accessibilité sous contrainte budgétaire de temps, et d'autre part un indicateur d'accessibilité de type gravitaire.

Par zone de destination, nous avons dénombré l'effectif des populations établies dans des zones d'origine qui sont capables d'y accéder en un temps inférieur à une valeur plafond. En fixant le plafond à 45 minutes, nous constatons que le cœur d'agglomération est accessible à 40% de la population pour ce critère ; la proportion est de 30% pour l'accessibilité en banlieue proche et à 20-25% en banlieue éloignée.



Fig 6a. Charge de trafic sur le réseau de transports collectifs lourd – 2004 – SOURCE : DONNÉES (DREIF) ET REF. [6]

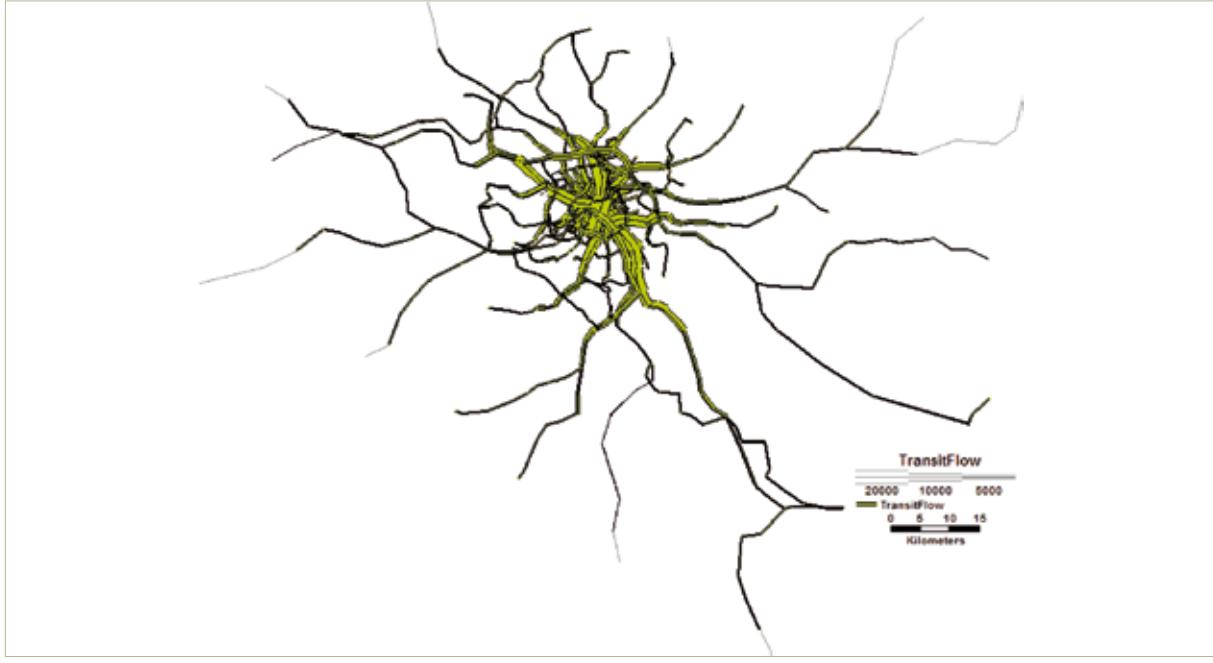


Fig 6b. Charge de trafic sur le réseau de transports collectifs lourd – 2030 SRDC – SOURCE : DONNÉES (DREIF) ET REF. [6].

En considérant le scénario de densification ciblée à l'horizon 2030, l'aire de marché de la voiture s'élargit dans les zones d'extension à l'ouest et à l'est. Une meilleure équité spatiale de l'accessibilité sous contrainte temporelle se dessine pour les déplacements réalisés en voiture particulière. Pour les transports collectifs, si la forme concentrique de l'accessibilité reste maintenue, nous pouvons néanmoins relever son extension au nord et au sud de la périphérie dense, conséquence d'une performance d'accès améliorée avec les nouvelles liaisons tangentielles et de rocades.

Quelques commentaires sur les résultats obtenus

L'analyse des scénarios prospectés montre que l'évolution démographique prévue d'ici 2030, canalisée dans l'espace selon une logique de densification, devrait permettre un renforcement de la centralité urbaine répartie entre la banlieue et les grands pôles d'aménagement que sont les Villes Nouvelles, avec une intensification de la cohérence urbaine entre les domiciles et les emplois, une réduction des distances moyennes entre domicile et travail, et une proportion accrue de déplacements effectués par des modes non motorisés. Ces effets seraient plus forts avec le scénario de densification ciblée qu'avec celui de densification homogène, *à condition toutefois que les pôles périphériques concentrent les fonctions urbaines essentielles et que les transports internes à chacun de ces pôles soient suffisamment performants.*

Les transformations dans la structure des interactions spatiales et dans les besoins de déplacement, couplées au développement programmé des réseaux de transport, mais confrontées à l'accroissement démographique, semblent permettre de maintenir la qualité de service sur le réseau routier de l'agglomération, du moins pour la période simulée i.e. l'heure de pointe du soir. Cette stabilisation reposerait notamment sur un recours accru aux voies rapides urbaines. Dans le scénario de densification ciblée, l'emprise du trafic routier sur le reste du réseau (hors VRU) pourrait même décroître quelque peu, permettant de mieux répartir la capacité routière en faveur des circulations douces. Le développement démographique et le maintien de la qualité de service en transport concourraient à améliorer non seulement les centralités secondaires donc l'accessibilité dans un cadre de proximité, mais encore les effectifs de population susceptibles d'atteindre une

destination en un temps limité, ou le nombre d'emplois pouvant être visés depuis un lieu de domicile.

La simulation effectuée intègre les interactions spatiales entre les populations et les emplois selon leurs lieux d'implantation respectifs, les comportements microéconomiques des individus dans leurs choix de déplacement (mode, itinéraire), et certains effets de congestion sur le réseau routier. Elle ne considère toutefois pas les prix immobiliers et les décisions de localisation des ménages ou des entreprises, ni les évolutions potentielles dans la répartition horaire des déplacements, la structure sociologique des résidents (décohabitation...), ou leur attitude face à la motorisation automobile. Elle ne considère pas non plus la présence des visiteurs et leur mobilité pour motif d'affaire ou de tourisme, ni les trafics de fret. En ce qui concerne l'offre de transport, nous n'avons considéré le stationnement que forfaitairement, et nous avons négligé les contraintes de capacité sur les réseaux de transport collectif.

Enfin, l'essentiel de notre investigation a précédé les récents et importants projets d'aménagement pour des liaisons ferroviaires en périphérie de l'Ile de France, au titre de l'aménagement du Grand Paris. Une simulation des effets, intégrant les phénomènes de congestion sur le réseau routier et ceux sur les transports collectifs, ainsi que les mécanismes du stationnement, et les phénomènes de localisation des acteurs microéconomiques, constitue un objectif pour notre équipe de recherche, dans un terme de trois ou quatre ans afin de bénéficier de la nouvelle Enquête Globale de Transports de voyageurs que le Syndicat des Transports d'Ile de France a lancée fin 2009.

Avec l'espoir que le débat se poursuive...

L'objectif de cette communication n'est évidemment pas de trancher le difficile débat sur les performances respectives des agglomérations monocentriques et polycentriques au regard du caractère soutenable ou non de leur développement. Il est plus modestement de réfléchir sur différents scénarios possibles d'aménagement d'une métropole spécifique, la métropole francilienne.

L'objectif n'est pas non plus de clore prématurément le débat sur les choix stratégiques à opérer pour les réseaux de transport devant être réalisés de manière prioritaire à l'horizon des vingt ou trente prochaines années dans cette métropole. Les simulations réalisées dans le cadre des études que nous avons évoquées tendent toutefois à souligner l'intérêt du projet proposé par la Région pour le maillage des réseaux ferroviaires lourds (métro et RER) en banlieue (projet Arc Express). Le projet de l'Etat demanderait quant à lui de sérieuses études complémentaires pour ce qui est de ses effets prévisibles en matière d'aménagement. On peut par exemple s'interroger sur la pertinence d'un transfert de l'emploi scientifique de Paris intra muros vers des territoires excentrés, aggravant des déséquilibres structurels au profit de l'ouest de la métropole. Il conviendra également de veiller à ce que les projets retenus n'assèchent pas pour les prochaines décennies les crédits disponibles pour les infrastructures de transport, au détriment notamment des efforts indispensables pour améliorer l'irrigation du territoire métropolitain par les transports publics, condition indispensable à l'efficacité des infrastructures lourdes.

Nous ne prétendons pas que les études citées ici répondent quant à elles à toutes les interrogations. En revanche, elles nous paraissent montrer qu'une rectification de la « trajectoire » actuelle de la métropole francilienne pour rendre son développement plus conforme aux défis sociaux et environnementaux de l'avenir est possible, à condition que les politiques publiques s'inscrivent de manière durable dans un schéma d'aménagement cohérent. Et aussi qu'il faut raisonner plus que jamais en associant dans une même démarche planification des infrastructures de transport et planification de l'occupation des sols. La voie qui semble aujourd'hui privilégiée de rechercher

« une synthèse » entre les projets de l'Etat et celui de la Région est sans doute de bon sens. Elle pourra être réellement productive si la réflexion intègre pleinement les effets du projet retenu sur la « durabilité » de l'aménagement métropolitain. Il serait pour le moins paradoxal que, alors même que les lois issues du « Grenelle de l'environnement » adoptées de manière récente par le Parlement français prônent la nécessité de réaliser en amont des grands projets d'aménagement des études approfondies portant sur leurs impacts sur les territoires concernés, le plus ambitieux de ces projets actuellement envisagés, celui concernant l'aménagement de la « région capitale », échappe à cette règle, et se limite à un débat portant sur les seules infrastructures de transport.

Références

1. Les « *Enquêtes globales transport* » (EGT), réalisées en Région Ile de France en 1975, 1983, 1991 et 2001, sous l'égide de la Direction Régionale de l'Equipement Ile de France (DREIF).
2. AGENAIS A.E., LATERRASSE J., *Evaluation de la tarification des déplacements en Ile de France : performances des modes de transport et scénarios d'évolution*, 11ème World Conference on Transport Research (WCTR), Berkeley (2007).
3. CERVERO R., KPOCKELMAN K., « *Travel demand and the 3Ds : density, diversity, and Design* », Transportation Research Part D, Transport and Environment, Vol. 2, n° 3, pp. 199-219, (1997).
4. MASSOT M.H., ORFEUIL J.P., *La contrainte énergétique doit-elle réguler la ville ou les véhicules ? Mobilité urbaine et réalisme écologique*. Les Annales de la Recherche urbaine, n°103 (2008).
voir aussi : MASSOT M.H. (sous la direction de), *Mobilités et modes de vie métropolitains*, Les intelligences du quotidien, L'œil d'or, Paris (2010).
5. MORELLET O., *Les ménages et les transports dans le modèle MATISSE*. Les Collections de l'INRETS, Paris (2007).
6. AW TH., LATERRASSE J., LEURENT F., *Prospective de l'usage des sols et du transport en Ile de France*. Colloque du réseau d'économie urbaine, Lyon (2009). Pour une présentation plus détaillée de cette étude, on pourra aussi se reporter à la thèse de AW TH., Université de Paris Est, décembre 2010.